

626.4

A-44

02017

A 44

МАТЕРІАЛЫ ДЛЯ ПРОЕКТИРОВАНІЯ КАМЕРНЫХЪ ШЛЮЗОВЪ.

СОСТАВИЛИ

Н. А. АКУЛОВЪ и С. А. ПРОКОФЬЕВЪ

Инженеры Гутей Сообщенія

ПРЕПОДАВАТЕЛИ КІЕВСКАГО ПОЛИТЕХНИЧЕСКАГО ИНСТИТУТА

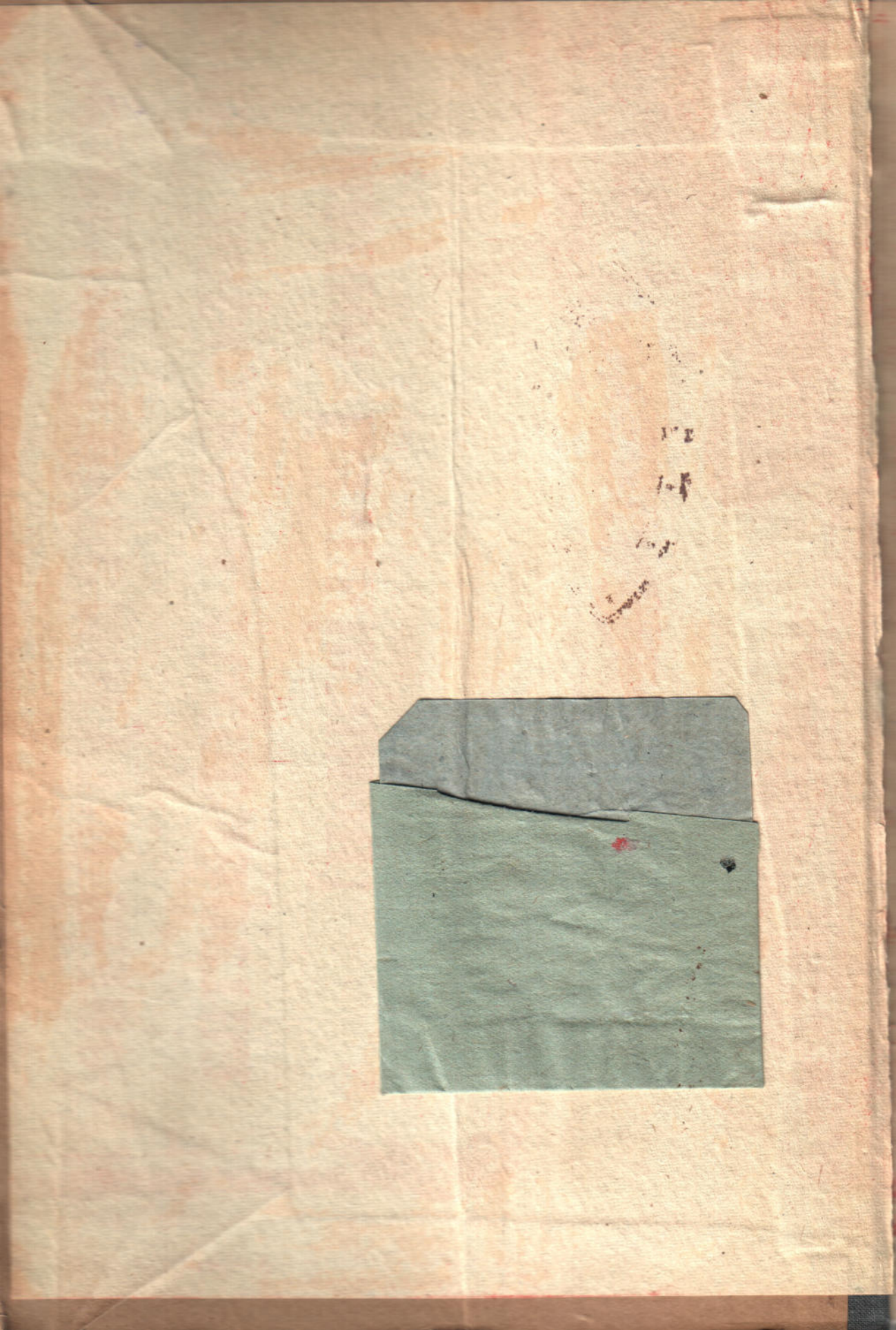
Императора Александра II.

Съ 7 фототипіями въ текстъ и отдѣльнымъ атласомъ чертежей.



КІЕВЪ.
Типографія С. В. Кулженко, Пушкинская ул., собственный домъ № 4.
1905.





Всѣ Выдававшіеся
1904

М

У 626
А-44

МАТЕРІАЛЫ ДЛЯ ПРОЕКТИРОВАНІЯ КАМЕРНЫХЪ ШЛЮЗОВЪ.



СОСТАВИЛИ

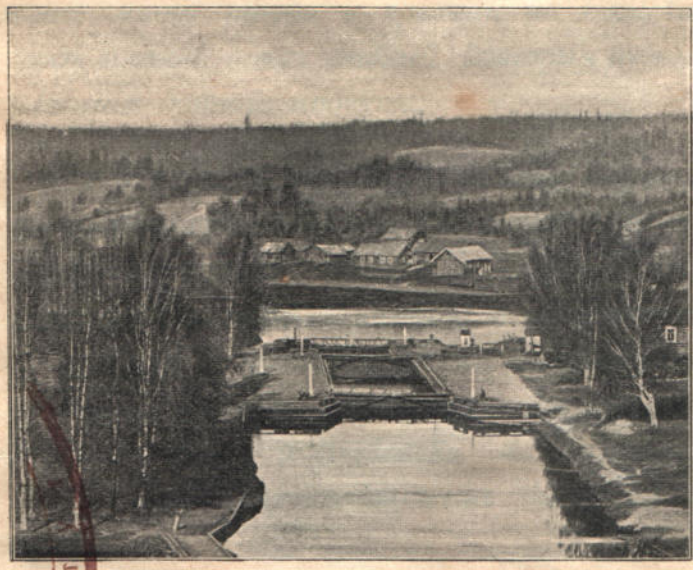
Н. А. АКУЛОВЪ и С. А. ПРОКОФЬЕВЪ

Инженеры Путей Сообщенія

ПРЕПОДАВАТЕЛИ КІЕВСКАГО ПОЛИТЕХНИЧЕСКАГО ИНСТИТУТА

Императора Александра II.

Съ 7 фототипіями въ текстъ и отдѣльнымъ атласомъ чертежей.



КІЕВЪ.

Типографія С. В. Кульженко, Пушкинская ул., собственный домъ № 4.
1904.



Худ. В. Завьянко. Ред. А. Широков
Бит. 05016. Тиражъ 25.000

Примечаніи
Института в Кіевѣ

Мелора

1904. Харьков.

И

Дозволено Цензурою. Київъ, 26 Іюля 1904 года.

Предисловіе.

Настоящій трудъ имѣетъ своей цѣлью служить для студентовъ пособіемъ при проектированіи шлюзовъ.

Въ русской технической литературѣ чувствуется недостатокъ въ руководствахъ по этому вопросу, что и вынуждало студентовъ постоянно обращаться къ иностраннымъ источникамъ, причемъ затрачивалось много труда и времени на отысканіе и переводъ именно тѣхъ статей, которыя нужны для составленія даннаго проекта.

Желая оказать посильную помощь студентамъ, мы рѣшились издать настоящій трудъ. Онъ не представляетъ, конечно, полного и систематическаго руководства къ проектированію шлюзовъ, но ввиду того, что при составленіи его мы пользовались трудами такихъ авторитетовъ, какъ инженеры de Mas, Lagrené, Landsberg и Brennecke, мы полагаемъ, что онъ во всякомъ случаѣ можетъ быть полезнымъ пособіемъ.

Для возможной полноты выясненія даннаго вопроса мы рѣшились включить въ предлагаемое ру-

ководство и нѣкоторыя части изъ Трудовъ Инженеровъ Витегорскаго Округа, которые въ настоящее время представляютъ почти библиографическую рѣдкость, между тѣмъ какъ они заключаютъ въ себѣ много весьма цѣнныхъ указаній по деревяннымъ шлюзамъ.

Письм., 22 Ноября 1904 г.

Железные стѣны шлюзовъ

СОДЕРЖАНІЕ.

Шлюзовые стѣны.

СТРАН.

§ 1. Наименованіе отдѣльныхъ ихъ частей. § 2. Соображенія, которыми слѣдуетъ руководиться при устройствѣ шкафныхъ угловъ. § 3. Стѣны камеры. Опредѣленіе профиля береговой стѣны. § 4. Профиль по Bélidor'у. § 5. Профиль по Gauthey'ю. § 6. Профиль по Minard'у. § 7. Разсмотрѣніе формы стѣны вообще. § 8. Рациональная формула для опредѣленія толщины стѣны рѣчного шлюза. § 9. Эмпирическая формула для опредѣленія толщины стѣны рѣчного шлюза. § 10. Рациональная формула для опредѣленія толщины стѣны шлюза, расположеннаго въ каналѣ. § 11. Эмпирическая формула для опредѣленія толщины стѣны шлюза, расположеннаго въ каналѣ. § 12. Опредѣленіе толщины стѣны шлюза въ томъ случаѣ, когда земляная засыпка вслѣдствіе сильнаго увлаженія можетъ производить давленіе больше гидростатическаго. § 13. Нижняя голова шлюза. § 14. Шкафныя стѣны. § 15. Упорныя стѣны. § 16. Расчетъ упорной стѣны. § 17. Обратныя стѣнки	1— 39
--	-------

Фундаментъ шлюза.

§ 18. Общія соображенія. § 19. Опредѣленіе толщины сплош- наго фундамента шлюза	39— 69
--	--------

Стѣны и основанія деревянныхъ шлюзовъ.

§ 20. Стѣны. § 21. Верхнія крылья. § 22. Флютбетныя стѣны. § 23. Стѣнка паденія. § 24. Флютбетная часть нижней головы. § 25. Нижнія крылья. § 26. Камерныя стѣны. § 27. Основанія деревянныхъ шлюзовъ. § 28. Устройство флютбета камеры. § 29. Устройство веревальныхъ и шандронныхъ столбовъ. § 30. Входныя	69— 91
--	--------

Желѣзные створчатые ворота шлюзовъ.

СТРАН.

§ 31. Краткія свѣдѣнія о постепенной выработкѣ типа шлюзовыхъ воротъ. § 32. Створчатые ворота. § 33. Элементы створчатыхъ воротъ. § 34. Типы створчатыхъ воротъ. § 35. Силы, дѣйствующія на створчатые ворота. § 36. Реакція стѣнъ. § 37. Краткій выводъ формулъ для расчета неразрѣзныхъ балокъ. § 38. Расчетъ обшивки изъ досокъ и волнистаго желѣза. § 39. Общія замѣчанія относительно расчета плоской обшивки изъ листового желѣза. § 40. Расчетъ плоской обшивки изъ листового желѣза. § 41. Расчетъ обшивки изъ листового желѣза на криволинейныхъ воротахъ. § 42. Устройство обшивки. а) деревянная обшивка. б) плоская обшивка изъ листового желѣза. в) обшивка изъ волнистаго или лотковаго желѣза. § 43. Увеличеніе жесткости плоской обшивки 91—153

Остовъ воротъ.

§ 44. Ригели. § 45. Нижній рамный брусъ. § 46. Верхній брусъ и служебный мостикъ. § 47. Количество матеріала въ ригеляхъ. § 48. Сравненіе ригельныхъ и стоечныхъ воротъ. § 49. Стойки. § 50. Веревяльные столбы. § 51. Расчетъ веревяльныхъ столбовъ. § 52. Створные столбы: а) ригельныя ворота б) стоечные ворота в) криволинейныя ворота 153—193

Расчетъ ригельно=стоечныхъ воротъ по способу инженера Cadart'a.

§ 53. Первый случай. 54. Полотно состоитъ изъ трехъ стоекъ и равноотстоящихъ другъ отъ друга ригелей. § 55. Усиліе, являющееся результатомъ створа. § 56. Полотно, въ которомъ число стоекъ болѣе трехъ. 57. Второй случай. 58. Полотно съ тремя стойками и равноотстоящими другъ отъ друга ригелями. § 59. Полотно съ 4-мя равноотстоящими стойками. 60. Деревянные шлюзные ворота. § 61. Сравненіе шлюзныхъ воротъ деревянныхъ, металлическихъ и смѣшаннаго типа 193—221

Механизмы воротъ.

§ 62. Пята съ пятникомъ. § 63. Шипъ и гальсбантъ. § 64. Приспособленія для закрытія и открытія водопроводныхъ оконъ а) подъемные щиты б) вращающіеся щиты 221—246

Расчетъ усиія для открыванія шлюзныхъ воротъ.

СТРАН.

§ 65. Опредѣленіе величины усиія, потребнаго для открытія шлюзныхъ воротъ по новѣйшимъ изслѣдованіямъ	246—258
--	---------

Шлюзовые стѣны.

§ 1. Наименованіе отдѣльных ихъ частей. Начиная съ настоящимъ твой трудъ съ разсмотрѣнія условій устойчивости и прочности каменныхъ шлюзовыхъ стѣнъ, мы считаемъ нужнымъ прежде всего установить болѣе точное и опредѣленное разграниченіе отдѣльных ихъ частей, чѣмъ это сдѣлано въ курсѣ внутреннихъ водяныхъ сообщений проф. О. Г. Зброжека.

Каждый камерный шлюзъ можно разсматривать состоящимъ какъ-бы изъ двухъ полушлюзовъ и нѣкотораго протяженія канала между ними, берега которого могутъ быть сдѣланы или въ видѣ укрѣпленныхъ откосовъ, или въ видѣ стѣнъ набережныхъ.

Полушлюзы получаютъ названіе шлюзовыхъ частей, или головъ—верхней и нижней, а упомянутый выше каналъ называется камерою.

Каждая голова шлюза въ свою очередь состоитъ изъ слѣдующихъ частей:

1) обратныхъ стѣнокъ или крыльевъ, служащихъ для связи стѣны съ берегомъ;

2) входныхъ стѣнъ, которыя соединяются съ обратными стѣнками посредствомъ закругленій радіусомъ отъ 0,50 до 1 метра, чтобы облегчить входъ и выходъ судовъ; на разстояніи отъ 0,10 метр. до 0,20 метр. ниже закругленій во входныхъ стѣнахъ дѣлаются пазы для закладыванія шандоровъ. Ширина и глубина пазовъ варьируетъ въ зависимости отъ размѣровъ шандоровъ, а слѣдовательно и отъ размѣровъ шлюза. Обыкновенно пазы дѣлаютъ одинаковыми какъ въ глубину, такъ и въ ширину, причемъ размѣры ихъ колеблются отъ 0,25 до 0,40

метра. Конечно одинъ рядъ шандоровъ можетъ выдержать напоръ воды только при незначительной ширинѣ шлюза и величинѣ напора; въ противномъ случаѣ обыкновенно устраивали два ряда шандоровъ, промежутокъ между которыми заполнялся водонепроницаемымъ грунтомъ, причемъ по мнѣнію Lagrené разстояніе между рядами шандоровъ должно быть не менѣе 1,10 метра.

По мнѣнію de-Mas'a можно вообще обходиться однимъ рядомъ шандоровъ, если поддерживать его нѣсколькими стойками, устанавливаемыми въ особыя гнѣзда, устраиваемыя во флютбетѣ. Такой способъ примѣненъ между прочимъ у насъ въ шлюзахъ на р. Шекснѣ.

Ниже одиночного паза или второго, если ихъ два, входныя стѣны до шкафа должны имѣть достаточную длину, чтобы не могло произойти скалыванье кладки подъ вліяніемъ напора воды на шандоры или случайныхъ ударовъ въ нихъ судовъ. Длина эта по de-Mas'у въ зависимости отъ величины напора и качества кладки колеблется отъ 0,60 до 1 метра. Въ шлюзахъ на р. Шекснѣ длина эта взята равною 0,65 саж.;

3) шкафныхъ стѣнъ, ограничивающихъ углубленія, называемыя шкафами, служащія для помѣщенія воротъ, когда эти послѣднія открыты *).

Уголъ шкафа, въ который упираются ворота, называется шкафнымъ упорнымъ угломъ. Нѣсколько ниже мы укажемъ, какими соображеніями слѣдуетъ руководиться при устройствѣ упорныхъ угловъ.

4) упорныхъ стѣнъ, главное назначеніе которыхъ сопротивляться напору отъ воротъ; на степень устойчивости и прочности ихъ слѣдуетъ обратить особое вниманіе, когда камерныя стѣны не представляютъ одного цѣлаго съ упорными стѣнами, а обдѣланы только какъ укрѣпленные откосы. Въ послѣднемъ случаѣ для возможности производить ремонтъ каждаго полушлюза отдѣльно, въ упорныхъ стѣнахъ ниже воротъ устраиваются такіе-же пазы, какъ и во входныхъ стѣнахъ.

*) Мы предполагаемъ, что ворота двустворчатыя и только этотъ одинъ типъ воротъ мы и будемъ разсматривать во всемъ дальнѣйшемъ изложеніи.

Очевидно, что въ томъ случаѣ, когда камера шлюза ограждена каменными стѣнами, то эти послѣднія сливаются въ одно цѣлое съ верхними упорными и съ нижними входными стѣнами.

§ 2. Соображенія, которыми слѣдуетъ руководиться при устройствѣ шкафныхъ упорныхъ угловъ. При устройствѣ шкафного угла должны быть выполнены слѣдующія условія:

1) когда ворота закрыты, они должны имѣть достаточную опору въ кладкѣ;

2) соприкасаніе воротъ съ кладкой должно быть настолько плотно, чтобы вода не могла черезъ него проникать изъ верхняго бьефа въ камеру, когда въ этой послѣдней вода стоитъ на уровнѣ нижняго бьефа.

3) при открытіи и закрытіи воротъ не должно развиваться значительнаго тренія.

Само собой разумѣется, что рѣшеніе вопроса зависитъ, какъ отъ формы веревяльнаго столба, такъ и отъ положенія его оси вращенія.

Если задней поверхности веревяльнаго столба придать форму полуцилиндра съ круговымъ основаніемъ, ось вращенія расположить по оси этого цилиндра, наконецъ шкафной уголъ обдѣлать по такой-же точно цилиндрической поверхности, которая съ одной стороны соприкасалась-бы съ продолженіемъ упорной плоскости короля, а съ другой стороны приличнымъ образомъ была сопряжена съ поверхностью шкафной стѣны, то сразу были-бы выполнены первое и второе условіе, а именно, мы получили-бы для полотнъ воротъ вполне удобную и водонепроницаемую опорную поверхность. Такимъ образомъ и устроены были шкафные упорные углы въ первыхъ шлюзахъ. Но подобное рѣшеніе вопроса нельзя назвать удовлетворительнымъ, такъ какъ поставленное нами выше третье условіе оказывается невыполненнымъ; дѣйствительно, благодаря непрерывному во все время маневровъ съ воротами соприкасанію цилиндрическихъ поверхностей упор-

наго угла и веревяльнаго столба приходится имѣть дѣло съ весьма значительнымъ треніемъ.

Чтобы избѣжать этого тренія и сохранить преимущества опоры и водонепроницаемости, получаемыя благодаря соприкасанию цилиндрическихъ поверхностей при закрытомъ состояніи воротъ, стали располагать ось вращенія воротъ не совпадающей съ общей осью цилиндрическихъ поверхностей.

Построеніе производится слѣдующимъ образомъ (чер. 1): сначала опредѣляютъ положеніе короля, глубину шкафа и главные размѣры полотна; по этимъ даннымъ строятъ положеніе оси полотна при открытыхъ и закрытыхъ воротахъ. Проведя бисектрису тупого угла, смежнаго съ угломъ, образованнымъ крайними положеніями осей, мы видимъ, что, какую-бы точку этой линіи, кромѣ только точки пересѣченія осей, мы ни приняли за проекцію оси вращенія полотна, это послѣднее отойдетъ отъ кладки, какъ только начнетъ открываться, и въ положеніи, параллельномъ стѣнѣ шкафа, не будетъ вовсе касаться стѣны.

Чтобы рѣшить, какую точку бисектрисы принять за проекцію оси вращенія, нужно найти еще одно дополнительное условіе.

Въ самомъ дѣлѣ, замѣтимъ, что вертикальная плоскость, проходящая черезъ ось фигуры полотна, не включаетъ въ себѣ вообще центра тяжести его: обшивка, водопроводныя окна, служебный мостикъ приближаютъ этотъ центръ къ лицевой или передней поверхности полотна, а потому, чтобы избѣжать всякаго стремленія къ перекашиванію, желательно ось вращенія помѣстить въ вертикальной плоскости, параллельной лицевой поверхности полотна и проходящей черезъ его центръ тяжести. Само-собой очевидно, что пересѣченіе вышеуказанной бисектрисы съ горизонтальной проекціей этой вертикальной плоскости и даетъ вполнѣ правильную горизонтальную проекцію оси вращенія.

Полученный такимъ образомъ эксцентриситетъ фигуры обыкновенно бываетъ незначителенъ: большею частью онъ близокъ къ одному сантиметру и рѣдко доходитъ до 5 сант.

Въ виду того, что ось вращения полотна должна быть строго вертикальна, во избѣжаніе всякой ошибки во время постройки слѣдуетъ вычертить на желѣзномъ или цинковомъ листѣ эпіюру шкафного угла въ натуральную величину и прикладывать ее на флютбетѣ и наверху и внизу веревяльнаго столба, какъ при закрѣпленіи пяты въ подпятномъ камнѣ, такъ и при задѣлкѣ тяжелой гальсбанта въ стѣнѣ.

Эксцентричное положеніе оси вращения позволяетъ сохранить полукруглую форму веревяльнаго столба и насколько возможно большую поверхность соприкасанія полотна со шкафовымъ угломъ при закрытыхъ воротахъ; такое рѣшеніе вопроса важно только для деревянныхъ воротъ, что-же касается до воротъ металлическихъ, то для нихъ, очевидно, это не имѣетъ значенія, такъ какъ для нихъ полукруглая форма веревяльнаго столба вообще рѣдко примѣняется, а потому и эксцентрическое положеніе оси вращения не представляется необходимымъ. Въ этомъ послѣднемъ случаѣ задача рѣшается нѣсколько иначе: въ металлическихъ воротахъ веревяльный столбъ или металлическіе диски, его замѣняющіе, обдѣлываются не по дугѣ полукруга, а по полуэллипсу или другой аналогичной кривой, большая ось которой направлена по продолженію оси фигуры полотна. Кромѣ того, въ этомъ случаѣ полотно уже не опирается болѣе непосредственно въ шкафной уголъ: оно отдѣлено отъ него брусомъ, толщиною обыкновенно въ 8 сант., который дѣлается во всю высоту полотна и служитъ для передачи давленія отъ воротъ на стѣны; поэтому ему слѣдуетъ давать ширину по крайней мѣрѣ въ 20 сант. (чер. 2).

Въ воротахъ Шекенинскихъ шлюзовъ ширина подобнаго бруса взята равною 8 дюймамъ.

Ось вращения при такой конструкціи располагается на пересѣченіи осей фигуры полотна въ открытомъ и закрытомъ его положеніяхъ, при чемъ при послѣднемъ положеніи полотно воротъ упирается въ шкафной уголъ или веревяльнымъ столбомъ или вершинами металлическихъ дисковъ, при чемъ во избѣжаніе раздробленія кладки въ нее въ мѣстахъ упора дисковъ обыкновенно задѣлываются чугуныя доски. Ввиду неравномѣрности работы отдѣльныхъ дисковъ (ихъ обыкно-

венно дѣлають четыре) предпочтительнѣе позади верейльнаго столба прикрѣплять деревянный брусъ, который и упирался-бы въ кладку по всей высотѣ полотна. Въ Шекснинскихъ шлюзныхъ воротахъ примѣненъ и тотъ и другой типъ упора.

Замѣтимъ кстати, что каждое полотно металлическихъ воротъ упирается въ порогъ короля посредствомъ особаго упорнаго бруса, который прикрѣпляется или къ королю, или къ нижнему рамному ригелю. Толщина его, очевидно, равна толщинѣ упомянутаго выше вертикальнаго опорнаго бруса.

Каково-бы ни было очертаніе, которое придаютъ упорному шкафному углу, слѣдуетъ соблюдать условіе, чтобы уголъ этотъ принималъ давленіе отъ закрытыхъ воротъ по нормали. Давленіе это направлено не по оси полотна, а, какъ мы увидимъ далѣе, составляетъ уголъ 2α съ перпендикуляромъ къ продольной оси шлюза, гдѣ α —есть уголъ, составляемый осью закрытаго полотна съ тѣмъ-же перпендикуляромъ.

Замѣтимъ, что въ первомъ построеніи, примѣняемомъ исключительно къ деревяннымъ воротамъ, условіе это оказывается выполненнымъ благодаря цилиндрической круговой поверхности соприкасанія верейльнаго столба и шкафнаго угла.

При желѣзныхъ воротахъ, очевидно, направленіе давленія пересѣкаетъ подъ косымъ угломъ шкафной уголъ и кромѣ того въ точкѣ, гдѣ полотно не касается кладки. Очевидно, что давленіе это разлагается на два: одно, идущее по оси полотна, другое нормальное къ первому. Отсюда становится ясной работа вертикальнаго упорнаго бруса и металлическихъ дисковъ или верейльнаго столба.

Что касается до расчета шкафныхъ и упорныхъ стѣнъ верхней головы шлюза, то мы на немъ останавливаться не будемъ, такъ какъ эти послѣднія дѣлаются такихъ-же размѣровъ, какъ и въ нижней головѣ, для которой расчетъ приведенъ ниже, и сразу перейдемъ къ разсмотрѣнію стѣнъ камеры.

§ 3. Стѣны камеры. Опредѣленіе профиля береговой стѣны. Береговые камерныя стѣны нельзя рассчитывать какъ обыкновенныя подпорныя стѣнки, поддерживающія земляную

насыпь известной высоты, въ виду тѣхъ особыхъ условий работы, въ которыхъ онѣ находятся. Каждая береговая стѣна подвержена съ одной стороны давленію земляной насыпки, а съ другой—давленію воды, которое мѣняетъ свою величину при каждомъ маневрѣ съ воротами.

Слѣдуетъ обратить также вниманіе на то обстоятельство, что подъ вліяніемъ разности горизонтовъ, поддерживаемой шлюзомъ, вода имѣетъ постоянное стремленіе проникать въ пространство за стѣной, увлажняетъ постепенно земляную насыпку и способствуетъ такимъ образомъ увеличенію давленія на заднюю грань стѣны. Последнее давленіе достигаетъ своего наибольшаго значенія тогда, когда шлюзъ совершенно освобожденъ отъ воды для производства ремонта флютбета.

Казалось-бы изъ вышеприведеннаго, что не представляетъ особаго затрудненія, принявши во вниманіе невыгоднѣйшія условія работы стѣны, опредѣлить и профиль, но, какъ мы увидимъ изъ дальнѣйшаго изложенія, надъ вопросомъ этимъ работали выдающіеся французскіе гидротехники, и несмотря на это еще до сихъ поръ не выработано вполнѣ законченнаго и точнаго приема расчета.

Небезынтересно прослѣдить постепенную разработку этого вопроса.

§ 4. Профиль по Bélidor'у. Первымъ, кто сдѣлалъ попытку опредѣлить профиль стѣны шлюза, былъ Bélidor, который предложилъ давать стѣнамъ профиль въ видѣ прямоугольника, причемъ ширину, или вѣрнѣе толщину, стѣны дѣлать равною высотѣ самыхъ высокихъ водъ надъ флютбетомъ.

Но слѣдуетъ замѣтить, какъ указываетъ Gauthey, что Bélidor говоритъ исключительно о морскихъ шлюзахъ, стѣны которыхъ, будучи подвержены ударамъ волнъ, должны быть порою массивнѣе, чѣмъ въ шлюзахъ для внутренняго плаванія.

§ 5. Профиль по Gauthey'ю. Прежде чѣмъ опредѣлить действительно устойчивый профиль стѣны, Gauthey предполагаетъ выводъ, что прямоугольнаго сѣченія стѣнка, поддер-

живающая насыпь, равную ей по высотѣ, дѣлается обыкновенно толщиною въ $\frac{1}{3}$ высоты, тогда какъ при боковомъ давленіи воды той-же высоты толщину эту приходится увеличить до $\frac{1}{2}$ высоты. Ввиду того, что засыпка, иногда можетъ при осадкѣ отдѣлиться отъ стѣны и не поддерживать ее отъ опрокидыванія, онъ находитъ, что стѣна должна имѣть устойчивость самостоятельную, которая соотвѣтствовала бы давленію воды изъ камеры.

Согласно вышеприведенному стѣна можетъ быть сдѣлана прямоугольнаго сѣченія при толщинѣ, равной половинѣ высоты самыхъ высокихъ водъ надъ флютбетомъ.

Придя къ такому выводу, Gauthey не останавливается на немъ и, желая получить сбереженіе каменной кладки, поступаетъ слѣдующимъ образомъ.

Задавшись толщиною поверху въ 1,30 мет., онъ придаетъ стѣнѣ трапецидальный профиль, причемъ внутреннюю грань принимаетъ вертикальной, а вишнюю—наклонной, и толщину стѣны въ уровнѣ флютбета опредѣляетъ при томъ условіи, чтобы стѣна при своемъ трапецидальномъ профилѣ представляла давленію воды изъ шлюза тоже сопротивленіе, какъ и при прямоугольномъ профилѣ и толщинѣ равной половинѣ высоты.

Обозначимъ черезъ h —высоту стѣны съ отвѣсными гранями и черезъ e —ее толщину. Моментъ давленія воды относительно ребра вращения на 1 метръ длины равенъ $\frac{\gamma h^3}{6}$. Моментъ вѣса стѣны относительно того-же ребра равенъ $\frac{\gamma' h e^2}{2}$.

Приравнивая эти моменты и принимая $\gamma' = 2\gamma$, получимъ $e = \frac{h}{\sqrt{6}} = 0,41 h$. Само собой разумѣется, что при другомъ γ' соотношеніе будетъ иное. Отсюда очевидно, что устойчивость стѣны на опрокидываніе будетъ вполне обезпечена, если принять $e = \frac{h}{2}$.

Преобразуемъ теперь стѣну прямоугольнаго сѣченія высотой h и толщиною $\frac{h}{2}$ въ трапецидальнаго сѣченія стѣну,

имѣющую внутреннюю грань вертикальную, толщину по верху a , по низу $a+x$ и представляющую тотъ-же моментъ сопротивленія опрокидыванію (черт. 3) относительно ребра B .

Моментъ сопротивленія опрокидыванія стѣнки прямоугольнаго сѣченія равенъ $\frac{\gamma' h^3}{8}$.

Моментъ сопротивленія опрокидыванія стѣнки трапецидальнаго сѣченія равенъ $\gamma' \left[\frac{a^2 h}{2} + a h x + \frac{x^2 h}{3} \right]$.

Приравнивая эти двѣ величины, получимъ уравненіе

$$x = -\frac{3a}{2} + \frac{1}{2} \sqrt{3a^2 + \frac{3}{2} h^2},$$

изъ котораго можно получить уклонъ внешней грани $\frac{x}{h}$ для любой высоты h стѣны.

Если принять, какъ это дѣлаетъ Gauthey, $a = 1,30$ мет., то уравненіе обратится въ слѣдующее:

$$x = -1,95 \text{ м.} + \frac{1}{2} \sqrt{5,07 + \frac{3}{2} h^2}.$$

Давая h различные численные значенія, находимъ:

для $h = 3,25$ м. $x = 0,33$ м. $a+x = 1,63$ м.

$h = 3,57$ м. $x = 0,51$ м. $a+x = 1,81$ м.

$h = 3,90$ м. $x = 0,69$ м. $a+x = 1,99$ м.

$h = 4,55$ м. $x = 1,05$ м. $a+x = 2,35$ м.

$h = 5,85$ м. $x = 1,80$ м. $a+x = 3,10$ м.

Легко убѣдиться, что отношеніе между объемами стѣны съ отвѣсными гранями толщиной $\frac{h}{2}$ и имѣющей тотъ-же моментъ сопротивленія стѣны трапецидальнаго профиля, выражающееся величиной $\frac{h}{2a+x}$, больше единицы, а при $a=1,30$ метр. увеличивается вмѣстѣ съ h , начиная съ значенія $h=2,60$ метр.

Такимъ образомъ оказывается, что профиль Gauthey'я позволяетъ уменьшить кубич. содержаніе кладки и сдѣлать

поперечное просачиваніе воды болѣе затруднительнымъ, такъ какъ толщина стѣны увеличивается съ давленіемъ.

Однако слѣдуетъ выяснитъ еще одно обстоятельство, а именно, будетъ-ли стѣна съ такимъ профилемъ устойчива въ томъ случаѣ, когда шлюзъ будетъ освобожденъ отъ воды, а вода верхняго бьефа, фильтруя вдоль стѣны, увлажнитъ засыпку и увеличить давленіе ея на стѣну.

Очевидно, что въ этомъ случаѣ моментъ сопротивленія на опрокидываніе относительно ребра А (черт. 3) будетъ

$$\gamma' \left[\frac{a^2 h}{2} + \frac{a h x}{2} + \frac{x^2 h}{3} \right]$$

Моментъ той-же стѣнки относительно ребра В, какъ мы видѣли выше, былъ

$$\gamma' \left[\frac{a^2 h}{2} + a x h + \frac{x^2 h}{3} \right],$$

при чемъ было выведено, что

$$x = -\frac{3a}{2} + \frac{1}{2} \sqrt{3a^2 + \frac{3}{2} h^2}.$$

Сравнивая эти два момента, видимъ, что первый меньше второго на величину $\frac{\gamma' a h x}{2}$, и, если мы припомнимъ, что второй моментъ равенъ моменту стѣны съ прямоугольнымъ профилемъ и толщиной равной половинѣ высоты, моменту, который мы приняли необходимымъ для обезпеченія устойчивости, то выходитъ, что моментъ стѣны трапецидальнаго профиля недостаточенъ на вышеуказанную величину. Эта недостаточность сдѣлается еще болѣе очевидной, если допустить, что нѣкоторыя засыпки въ увлажненномъ состояніи могутъ производить давленіе больше, чѣмъ гидростатическое. Слѣдуетъ также изслѣдовать вопросъ о наибольшемъ напряженіи кладки у крайнихъ реберъ какъ въ первомъ, такъ и во второмъ случаѣ.

Резюмируя вышеизложенное, можно заключить, что профиль, предложенный Gauthey'емъ, съ теоретической точки зрѣнія оказывается недостаточнымъ, но возможно, что на прак-

тикѣ онѣ и достаточенъ, такъ какъ стѣнка прямоугольнаго сѣченія представляетъ нѣкоторый излишекъ устойчивости, и можетъ быть этотъ излишекъ по своей величинѣ какъ разъ близокъ къ тому недостатку, который съ теоретической стороны представляетъ профиль Gauthey'я.

§ 6. Профиль по Minard'у. Minard даетъ весьма краткое указаніе относительно толщины стѣнъ. Вотъ какъ онѣ говоритъ въ своемъ курсѣ внутреннихъ водяныхъ сообщеній:

„Стѣны, которыя должны поддерживать напоръ воды, оказываются въ еще болѣе тяжелыхъ условіяхъ работы, когда подвергаются давленію земляной засыпки, особенно, когда шлюзъ свободенъ отъ воды. Такъ какъ засыпка можетъ быть насыщена водой, то ее рассматриваютъ какъ полужидкое тѣло болѣе плотное, чѣмъ вода. Въ силу этого замѣчанія нѣкоторые инженеры даютъ стѣнамъ толщину равную половинѣ высоты.

Вообще средняя толщина стѣнъ близка къ 0,40 высоты и крайними предѣлами оказываются 0,28 и 0,50—результатъ, который я вывелъ изъ разсмотрѣнія 400 построенныхъ уже шлюзовъ“.

Хотя это эмпирическое правило указываетъ только предѣлы, но оно важно въ томъ отношеніи, что устанавливаетъ фактъ, что въ 400 построенныхъ шлюзахъ нигдѣ стѣна не имѣла средней толщины болѣе половины высоты.

Кромѣ того важно замѣчаніе Minard'a, что давленіе земляной засыпки можетъ быть больше давленія воды—взглядъ, обратный высказанному Gauthey'емъ.

§ 7. Разсмотрѣніе формы стѣны вообще. Всѣ вышеупомянутые авторы допускали, что грань стѣны, обращенная въ камеру, должна быть вертикальна во избѣжаніе бесполезнаго увеличенія попуска воды и времени наполненія и опоражниванія шлюза. Но само собой очевидно, что соображенія эти имѣютъ силу для шлюзовъ въ каналахъ съ ограниченнымъ теченіемъ, что-же касается до рѣчныхъ шлюзовъ, то въ нихъ нѣтъ никакого интереса экономить воду; что-же касается до увеличенія времени наполненія и опоражниванія шлюза, то

оно настолько незначительно, что не может имѣть серьезнаго значенія. Приданіе извѣстнаго уклона грани стѣны въ камерѣ помимо сбереженія каменной кладки рационально уже потому, что скорѣе можно ожидать болѣе сильнаго давленія со стороны засыпки, произойдетъ-ли это отъ увлаженія ея, или отъ того, что вода верхняго бьефа будетъ давить полнотью на наружную грань стѣны, когда шлюзъ свободенъ отъ воды.

Такимъ образомъ мы видимъ, что стѣна должна представлять одинаковое сопротивленіе опрокидыванію въ обѣ стороны, а потому съ теоретической и практической стороны выгоднѣе стѣны дѣлать съ профилемъ въ видѣ равносторонней трапеціи.

Не слѣдуетъ опасаться, что наклонъ внутренней грани стѣны въ камерѣ можетъ быть причиной аварій судовъ во время колебаній горизонта: въ Америкѣ поставлено за правило давать гранямъ стѣнъ камеры уклонъ въ $\frac{1}{10}$, причемъ не дѣлается исключенія и для шлюзовъ въ каналахъ, и опытъ показалъ, что эта мѣра не вызывала никакихъ нареканій со стороны судоходства (*Malézieux Travaux publics aux Etats-Unis*).

Что касается до толщины по верху въ 1,30 мет., то мы оставимъ ее не только въ уровнѣ подпорнаго горизонта, но сохранимъ вплоть до низа верхнихъ облицовочныхъ плитъ, которыя возвышаются на нѣсколько дециметровъ надъ подпорнымъ горизонтомъ и имѣютъ ширину около 0,80 м.

При производствѣ работъ грань стѣны со стороны засыпки обыкновенно обдѣлываютъ уступами (вмѣсто однообразнаго уклона, о которомъ мы говорили выше), причемъ сначала поднимаютъ ее вертикально до верха перемычекъ, которыя служили для устройства основанія шлюза и дѣлаются обыкновенно изъ бстона на самомъ мѣстѣ стѣнъ для того, чтобы онѣ могли впослѣдствіи войти въ ихъ составъ.

Впрочемъ подобное отступленіе отъ проектнаго профиля нѣкоторые авторитеты гидротехники признаютъ нежелательнымъ по разнымъ причинамъ, такъ напримѣръ Генеральный Инспекторъ Graeff находитъ, что приданіе вѣншей грани

стѣны однообразнаго уклона способствуетъ лучшему соприкасанію земляной засыпки со стѣной, благодаря чему уменьшается фильтрація вдоль стѣнъ шлюза. (*Graeff. Construction de canaux*). Генеральный инспекторъ и профессоръ de Mas на стран. 285 своего труда „*Rivières canalisées*“ говоритъ слѣдующее: „Каждый знаетъ, что вода при замерзаніи увеличивается въ объемъ; тоже явленіе происходитъ въ землѣ, пропитанной водой, и дѣйствіе этого расширенія тѣмъ болѣе разрушительно, чѣмъ болѣе стѣняется свободное его проявленіе. Если заморозить воду въ цилиндрическомъ сосудѣ, то онъ неминуемо будетъ разорванъ, если-же сдѣлать тоже въ сосудѣ въ видѣ усѣченнаго конуса, то мы увидимъ, что ледъ поднимется вдоль наклонныхъ стѣнокъ, причемъ давленіе на эти послѣднія не въ состояніи ихъ разрушить. Въ виду этого принципа позади верхнихъ облицовочныхъ плитъ стѣна обдѣлывается наклонной плоскостью, чтобы помѣшать сталкиванію плитъ внутрь шлюза во время промерзанія земляной загрузки“.

Въ дальнѣйшихъ расчетахъ будемъ предполагать, что верхняя грань стѣны представляетъ наклонную плоскость отъ уровня флютбета до самаго верха, причемъ не будемъ вводить въ расчетъ ту часть стѣны, которая возвышается надъ подпорнымъ горизонтомъ. Предположенія эти сдѣланы въ пользу устойчивости.

Если земляная засыпка за стѣной шлюза выполнена съ такою тщательностью, которая примѣняется при возведеніи водонепроницаемыхъ земляныхъ плотинъ, то есть основаніе допустить, что эта засыпка будетъ производить на стѣну давленіе меньшее, чѣмъ столбъ воды той-же высоты, а потому наиболѣе неблагоприятнымъ для устойчивости будетъ тотъ случай, когда шлюзъ опорожненъ и вода верхняго бьефа, проникая въ пространство между стѣной и засыпкой, давитъ на первую съ полнымъ напоромъ.

Если, напротивъ, земляная засыпка выполнена безъ надлежащей тщательности, то возможно, что вслѣдствіе насыщенія водой она будетъ производить на стѣну давленіе большее, чѣмъ столбъ воды той-же высоты. Въ самомъ дѣлѣ, всѣ кубическаго метра, на примѣръ, насыщеннаго водою мелкаго песка

достигаетъ 1900 килогр., его внутреннее треніе ничтожно, такъ что засыпка такого рода можетъ давить какъ жидкость, плотность которой почти вдвое болѣе воды *).

Кромѣ того, площадка позади стѣны очень часто служитъ складочнымъ мѣстомъ для матеріаловъ и товаровъ и всегда бываетъ поднята на нѣсколько дециметровъ надъ горизонтомъ верхняго бѣфа. Поэтому въ этомъ случаѣ слѣдуетъ разсматривать не давленіе воды верхняго бѣфа, а давленіе жидкости почти вдвое болѣе плотной, чѣмъ вода, и стоящей на одномъ уровнѣ съ верхомъ стѣны.

Какъ въ томъ, такъ и въ другомъ случаѣ опрокидываніе имѣетъ направленіе въ сторону камеры.

Допустимъ сначала первое предположеніе, т. е., что засыпка выполнена со всею тщательностью, благодаря чему давленіе на наружную грань стѣны не можетъ быть болѣе, чѣмъ отъ столба воды, стоящей на уровнѣ верхняго бѣфа.

§ 8. Рациональная формула для опредѣленія толщины стѣны рѣчного шлюза. Итакъ раземотримъ стѣну высотой h , испытывающую со стороны засыпки давленіе воды, стоящей на одномъ уровнѣ съ верхомъ стѣны.

Обозначимъ черезъ a —ширину стѣны по верху, а черезъ x —заложенія откосовъ какъ со стороны камеры, такъ и со стороны засыпки; тогда толщина стѣны въ основаніи, т. е. въ уровнѣ флютбета камеры будетъ $a + 2x$ (черт. 4).

Изслѣдуемъ, какова должна быть эта толщина $a + 2x$, чтобы давленіе въ основаніи было не болѣе 6 кил. на квадр. сант., или 2,34 пуд. на кв. дюймъ.

Высота стѣны обыкновенно бываетъ не настолько значительна, чтобы вѣсъ кладки могъ одинъ произвести давленіе на основаніе въ 6 кил. на кв. сант.; поэтому слѣдуетъ разсмотрѣть совокупное дѣйствіе вѣса стѣны съ давленіемъ воды.

Давленіе воды на погонный метръ стѣны равно: $\frac{\gamma h \sqrt{x^2 + h^2}}{2}$

*) Относительно давленія на стѣну болѣе подробно указано въ расчетѣ фундамента.

Горизонтальная его составляющая: $\frac{\gamma h^2}{2}$

Вертикальная его составляющая: $\frac{\gamma h x}{2}$

Моментъ его относительно ребра B основанія: $\frac{\gamma h(h^2 + x^2)}{6}$

Вѣсъ стѣны: $\gamma' (a + x) h$

Моментъ его относительно ребра B основанія:

$$\gamma' \left(h x^2 + \frac{3}{2} a h x + \frac{a^2 h}{2} \right)$$

Равнодѣйствующая этихъ двухъ силъ будетъ имѣть го-
ризонтальную составляющую: $\frac{\gamma h^2}{2}$

Вертикальную составляющую: $\frac{\gamma h x}{2} + \gamma' (a + x) h$

Моментъ относительно того-же ребра B :

$$\frac{\gamma h(h^2 + x^2)}{6} + \gamma' \left(h x^2 + \frac{3}{2} a h x + \frac{a^2 h}{2} \right)$$

Удѣльный вѣсъ кирпичной кладки равенъ 1,8; бутовой и бетонной 2, 3, а потому, если принять, что $\gamma = 1^r$ и $\gamma' = 2^r$, эти составляющія и моменты равнодѣйствующей можно представить въ слѣдующемъ видѣ (принявъ за единицы тонну и метръ):

горизонтальную составляющую $\frac{h^2}{2}$;

вертикальную составляющую $\frac{5}{2} h x + 2 a h$;

моментъ относительно ребра B : $\frac{13}{6} h x^2 + 3 a h x + \frac{h^3}{6} + a^2 h$.

Разстояніе BK , на которомъ равнодѣйствующая пересѣкаетъ основаніе AB , выразится слѣдующимъ образомъ:

$$BK = \frac{\text{Моментъ равнодѣйствующей}}{\text{Вертикал. составл. равнод.}} = \frac{\frac{13}{6} h x^2 + 3 a h x + \frac{h^3}{6} + a^2 h}{\frac{5}{2} h x + 2 a h}$$

и слѣдовательно длина u или AK (разстояніе точки пересѣченія равнодѣйствующей отъ ребра A , около котораго можетъ происходить вращеніе) выразится такъ:

$$u = a + 2x - BK = a + 2x - \frac{\frac{13}{6} h x^2 + 3 a h x + \frac{h^3}{6} + a^2 h}{\frac{5}{2} h x + 2 a h},$$

или

$$u = \frac{17 x^2 + 21 a x - h^2 + 6 a^2}{15 x + 12 a}$$

$$\text{При } a=1,3 \quad u = \frac{17 x^2 + 27 x - h^2 + 10,14}{15 x + 15,6}$$

Если $AK < \frac{AB}{3}$, т. е. кривая давленія выходитъ изъ средней трети, то давленіе на одинъ квадратный метръ около ребра A выразится такъ:

$$\begin{aligned} & \frac{2}{3} \times \frac{\text{Вертик. составл. равнодѣйст.}}{u} = \\ & = \frac{2}{3} \times \frac{\left(\frac{5}{2} h x + 2 a h\right) (15 x + 12 a)}{17 x^2 + 21 a x - h^2 + 6 a^2} = \\ & = \frac{75 h x^2 + 120 a h x + 48 a^2 h}{51 x^2 + 63 a x - 3 h^2 + 18 a^2}. \end{aligned}$$

Если желательно, чтобы это давленіе было равно 60^r , то получимъ уравненіе:

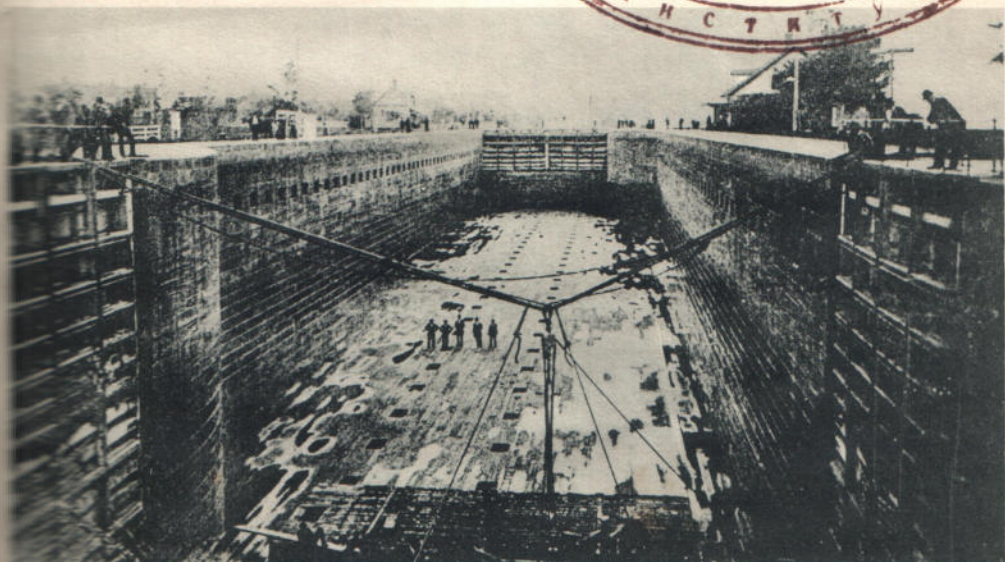
$$x^2 (3060 - 75 h) + x a (3780 - 120 h) - 180 h^2 + 1080 a^2 - 48 a^2 h = 0,$$

откуда

$$x = \frac{a(120h - 3780) + \sqrt{-54000 h^3 + 2203200 h^2 + 4320 a^2 h + 1069200 a^2}}{2(3060 - 75 h)}$$



Шлюзъ и обходной каналъ у пороговъ SAULT ST MARIE



Шлюзъ у пороговъ SAULT ST MARIE.

Вода изъ шлюза совершенно выпущена для исправленія сломавшагося затвора
въ водовыпускномъ отверстіи.

Наконецъ, подставляя значеніе $a = 1,3$, имѣемъ

$$x = \frac{78h - 2457 + \sqrt{-13500h^3 + 550800h^2 + 1825,2h + 451737}}{3060 - 75h}$$

Давая h рядъ послѣдовательно возрастающихъ значеній и подставляя ихъ въ эту формулу, а также и въ формулу для u , получимъ слѣдующія числовыя, данныя приведенныя въ таблицѣ I.

ТАБЛИЦА I.

h	a	x	$\frac{x}{h}$	$a+2x$	u	$h(a+x)$ (объемъ).	$\frac{a+x}{h}$	
2,00 м.	1,30 м.	-0,20 м.	-0,10	0,90 м.	0,055 м.	2,20 к.м.	0,55	
3,00	"	0,007	0,0023	1,314	0,085	3,921	0,485	
4,00	"	0,27	0,067	1,85	0,135	6,28	0,392	
5,00	"	0,55	0,110	2,40	0,215	9,25	0,37	
6,00	"	0,83	0,138	2,96	0,294	12,78	0,355	
7,00	"	1,13	0,161	3,56	0,410	17,01	0,347	minimum
8,00	"	1,64	0,205	4,58	0,899	23,52	0,36	

Изъ вышеприведеннаго видно, что стѣна, элементы которой мы опредѣляли, не представляетъ собой тѣла равнаго сопротивленія. Максимальное давленіе въ 6 кил. на кв. сант. можетъ быть только въ уровнѣ флютбета, и для всякаго горизонтальнаго сѣченія на болѣе высокомъ уровнѣ есть избытокъ сопротивленія, но для стѣнъ плузовъ при ихъ сравнительно небольшой высотѣ намъ кажется нежелательнымъ имѣть профиль равнаго сопротивленія, какъ это дѣлается для высокихъ стѣнъ водохранилищъ; нѣкоторое увеличеніе объема, которое явится слѣдствіемъ этого, во всякомъ случаѣ не повредитъ дѣлу, такъ какъ стѣнка, могущая подвергаться ударамъ, должна обладать и достаточной массой.

§ 9. Эмпирическая формула для опредѣленія толщины стѣны рѣчного шлюза. Ввиду того, что стѣны существующихъ шлюзовъ имѣютъ по большей части среднія толщины большія, чѣмъ указаны въ таблицѣ I, Инженеръ Lagrené сдѣлалъ попытку вывести эмпирическую формулу, которая давала-бы результаты болѣе близкіе къ наблюдаемымъ на практикѣ. Онъ исходилъ изъ положенія, что искомый профиль долженъ удовлетворять тому условію, чтобы моментъ вѣса разсматриваемой стѣны былъ равенъ моменту вѣса стѣны съ отвѣсными гранями, имѣющей толщину, равную половинѣ высоты. Посмотримъ, что намъ дастъ это условіе. Предположимъ, какъ и раньше, что стѣна имѣетъ симметричный профиль, высоту h и толщину поверху a и по низу $a + 2x$.

Моментъ вѣса погоннаго метра этой стѣны относительно одного изъ реберъ основанія, какъ мы видѣли выше, будетъ:

$$\gamma' \left[h x^2 + \frac{3}{2} a h x + \frac{a^2 h}{2} \right].$$

Моментъ вѣса погоннаго метра стѣны съ отвѣсными гранями и толщиной $\frac{h}{2}$ будетъ:

$$\frac{\gamma' h^3}{8}.$$

Приравнивая эти два момента, получаемъ уравненіе:

$$x^2 + \frac{3}{2} a x + \frac{a^2}{2} - \frac{h^2}{8} = 0,$$

откуда

$$x = \frac{-3a + \sqrt{a^2 + 2h^2}}{4}.$$

Для $x = 0$, находимъ какъ разъ $a = \frac{h}{2}$ и, если принять, какъ и раньше, $a = 1, 3$, то получимъ

$$x = \frac{-3,9 + \sqrt{1,69 + 2h^2}}{4}.$$

Кромѣ того очевидно, что давленіе на квадр. метръ въ тоннахъ около крайняго ребра будетъ:

$$\omega = \frac{75 hx^2 + 156 hx + 81,12 h}{51 x^2 + 81,9 x - 3 h^2 + 30,42}.$$

Давая h рядъ послѣдовательно возрастающихъ значеній, получаемъ возможность составить таблицу II, аналогичную таблицѣ I.

ТАБЛИЦА II.

h	a	x	$\frac{x}{h}$	$a+2x$	$(a+x) h$ (объемъ).	$\frac{\omega}{10000}$	$\frac{a+x}{h}$
2,00 м.	1,30 м.	-0,22 м.	-0,11	0,86 м.	2,16 к.м.	kg	—
3,00	„	0,13	0,043	1,56	4,29	2,0	0,47
4,00	„	0,47	0,117	2,24	7,08	2,1	0,44
5,00	„	0,82	0,164	2,94	10,60	2,3	0,42
6,00	„	1,17	0,195	3,64	14,82	2,5	0,41
7,00	„	1,52	0,217	4,44	19,74	2,7	0,40
8,00	„	1,87	0,233	5,04	25,36	2,9	0,39

Разсматривая таблицу II, мы видимъ, что напряженіе въ кирпичѣ нигдѣ не превосходитъ 3 кил. на кв. сант., что указываетъ на большой запасъ прочности. Кромѣ того послѣдняя графа таблицы, въ которой помѣщено отношеніе средней толщины стѣны къ ея высотѣ, показываетъ, что выведенная нами формула

$$x = \frac{-3,9 + \sqrt{1,69 + 2 h^2}}{4}$$

дастъ результаты весьма близкіе къ наблюдаемымъ Minard'омъ въ 400 существующихъ шлюзахъ, и самый характеръ расчета весьма близокъ къ предложенному Gauthey'емъ.

Конечно инженеръ въ каждомъ частномъ случаѣ въ зависимости отъ матеріала, изъ котораго строится шлюзъ, и мѣстныхъ условій долженъ самъ рѣшить, пользо-

ваться-ли ему эмпирической формулой или выведенной раньше рациональной.

Если-бы пожелали изслѣдовать условія, въ которыхъ находится стѣнка съ вертикальными гранями, имѣющая толщину, равную $\frac{h}{2}$, то для этого достаточно въ общее выраженіе для ω —давленія у крайняго ребра основанія—подставить $x=0$ и $a=\frac{h}{2}$, тогда получимъ $\omega=8h$.

Нижеслѣдующая таблица III даетъ результаты подстановки различныхъ значеній h .

ТАБЛИЦА III.

h (высота).	$\frac{h}{2}$ (толщина).	$\omega=8h$ (давленіе).	$\frac{1}{2} h^2$ (объемъ).
2.00 м.	1.00 м.	kg 1.60 на кв. смт.	2.00 к. м.
3.00	1.50	2.40	4.50
4.00	2.00	3.20	8.00
5.00	2.50	4.00	12.50
6.00	3.00	4.80	18.00
7.00	3.50	5.60	24.50
8.00	4.00	6.40	32.00

Изъ таблицы видно, какъ нераціонально примѣненіе прямоугольнаго профиля къ стѣнѣ шлюза съ точки зрѣнія сопротивленія боковому давленію: объемъ быстро растетъ, такъ какъ матеріалъ неэкономично распредѣленъ по профилю. Справедливость этого замѣчанія особенно наглядно подтверждается сравненіемъ таблицы III съ двумя вышеприведенными.

§ 10. Рациональная формула для опредѣленія толщины стѣны шлюза, расположеннаго въ каналѣ. Какъ мы видѣли выше при разсмотрѣніи вообще поперечнаго сѣченія стѣны шлюза, профиль съ двумя наклонными гранями оказы-

вается нежелательнымъ для шлюзовъ въ каналахъ, особенно же въ такихъ, гдѣ вопросъ о питаніи канала является довольно серьезнымъ, а потому мы введемъ новое условіе при опредѣленіи толщины стѣны, чтобы внутренняя грань ея (со стороны камеры) была вертикальна.

Итакъ рассмотримъ стѣну высотой h , имѣющую въ уровнѣ подпорнаго горизонта толщину a , а въ уровнѣ флюта $a + x$, гдѣ x —заложеніе откоса внѣшней грани (черт. 5).

Давленіе воды на погонный метръ стѣны равно

$$\frac{\gamma h \sqrt{x^2 + h^2}}{2}.$$

Горизонтальная составляющая равна $\frac{\gamma h^2}{2}$.

Вертикальная составляющая равна $\frac{\gamma h x}{2}$.

Моментъ давленія воды относительно ребра B равенъ $\frac{\gamma h (h^2 + x^2)}{6}$.

Вѣсъ стѣны равенъ $\gamma' h \left(a + \frac{x}{2} \right)$.

Моментъ этого вѣса относительно ребра B равенъ

$$\gamma' \left(\frac{a^2 h}{2} + a h x + \frac{x^2 h}{3} \right).$$

Равнодѣйствующая вышеприведенныхъ двухъ силъ будетъ

имѣть горизонтальную составляющую равную $\frac{\gamma h^2}{2}$

и вертикальную составляющую равную $\frac{\gamma h x}{2} + \gamma' h \left(a + \frac{x}{2} \right)$.

Моментъ равнодѣйствующей относительно ребра B равенъ,

$$\frac{\gamma h (h^2 + x^2)}{6} + \gamma' \left(\frac{a^2 h}{2} + a h x + \frac{h x^2}{3} \right).$$

Принимая $\gamma = 1^r$ и $\gamma' = 2^r$, получимъ въ тоннахъ для равно-

дѣйствующей горизонтальную составляющую равную $\frac{h^2}{2}$,
 вертикальную составляющую, равную $\frac{3hx}{2} + 2ah$.

Моментъ равнодѣйствующей относительно ребра B приметъ видъ:

$$\frac{5hx^2}{6} + 2ahx + \frac{h^3}{6} + a^2h.$$

Разстояніе BK точки пересѣченія равнодѣйствующей съ основаніемъ отъ ребра B равно:

$$BK = \frac{\text{моментъ равнодѣйств. относит. ребра } B}{\text{вертикал. составляющая равнодѣйств.}},$$

или

$$BK = \frac{\frac{5hx^2}{6} + 2ahx + \frac{h^3}{6} + a^2h}{\frac{3}{2}hx + 2ah},$$

и, слѣдовательно, длина AK или u —разстояніе точки пересѣченія равнодѣйствующей съ основаніемъ отъ крайняго ребра A , относительно котораго можетъ произойти вращеніе стѣны, имѣетъ слѣдующее выраженіе:

$$u = a + x - \frac{\frac{5hx^2}{6} + 2ahx + \frac{h^3}{6} + a^2h}{\frac{3}{2}hx + 2ah},$$

или

$$u = \frac{\frac{2}{3}hx^2 + \frac{3}{2}ahx - \frac{h^3}{6} + a^2h}{\frac{3}{2}hx + 2ah} = \frac{4x^2 + 9ax - h^2 + 6a^2}{9x + 12a}.$$

Величина давленія около ребра A будетъ, очевидно, равна

$$\frac{2}{3} \times \frac{\text{вертикал. составляющ. равнодѣйств.}}{u}$$

и, если принять, что это давление должно быть равно 60^r , то получимъ уравненіе

$$60 = \frac{2}{3u} \left(\frac{3hx}{2} + 2ah \right),$$

или

$$60 = \frac{(3hx + 4ah)(9x + 12a)}{(4x^2 + 9ax - h^2 + 6a^2)^{3/2}},$$

откуда получимъ:

$$x = \frac{6ah - 135a + \sqrt{-135h^3 + 3600h^2 + 150a^2h - 3375a^2}}{120 - 4,5h}.$$

Принимая $a = 1,3$ м., получаемъ

$$x = \frac{7,8h - 175,5 + \sqrt{-135h^3 + 3600h^2 + 253,5h - 5703,75}}{120 - 4,5h}.$$

Давая въ этомъ уравненіи h рядъ постепенно возрастающихъ значеній, найдемъ соотвѣтственные имъ значенія x и составимъ таблицу IV, аналогичную таблицѣ I и II.

ТАБЛИЦА IV.

h	a	x	$a+x$	u	$h \left(a + \frac{x}{2} \right)$ (объемъ).	$\frac{a + \frac{x}{2}}{h}$	$\frac{x}{h}$
2,00 м.	1,30 м.	-0,62 м.	0,68 м.	—	—	—	—
3,00	"	0,021	1,321	0,079 м.	3,9315 к.м.	0,436	0,007
4,00	"	0,65	1,95	0,16	6,50	0,406	0,162
5,00	"	1,28	2,58	0,24	9,70	0,388	0,256
6,00	"	1,96	3,26	0,37	13,68	0,380	0,351
7,00	"	2,65	3,95	0,44	18,375	0,375	0,378
8,00	"	3,38	4,68	0,68	23,92	0,373	0,422

§ 11. Эмпирическая формула для опредѣленія толщины стѣны шлюза, расположеннаго въ каналѣ. Чтобы получить эмпирическую формулу, служащую для опредѣленія толщины стѣны шлюза, расположеннаго въ каналѣ, при

условіи, чтобы грани стѣнъ въ камерѣ были вертикальны, слѣдуетъ поступать такъ-же, какъ мы это дѣлали примѣнительно къ стѣнѣ рѣчного шлюза, а именно, достаточно приравнять моментъ вѣса погоннаго метра разсматриваемой стѣны моменту вѣса стѣны прямоугольнаго сѣченія, имѣющей толщину равную половинѣ высоты, причемъ предположить далѣе, что шлюзъ опорожненъ отъ воды, и наружная грань стѣны подвержена полному напору верхняго бѣефа.

Итакъ получимъ уравненіе:

$$\frac{a^2}{2} + \frac{ax}{2} + \frac{x^2}{3} = \frac{h^2}{8},$$

откуда

$$x = -\frac{3a}{2} + \frac{1}{4} \sqrt{6h^2 - 15a^2};$$

при $a=1,3$ м.

$$x = -0,975 + \frac{1}{4} \sqrt{6h^2 - 25,35}.$$

Выше въ предыдущемъ параграфѣ мы видѣли, что величина u имѣетъ выраженіе

$$u = \frac{\frac{2}{3} h x^2 + \frac{3}{2} a h x - \frac{h^3}{6} + a^2 h}{\frac{3}{2} h x + 2 a h}.$$

При $a=1,3$ м. выраженіе это обратится въ слѣдующее:

$$u = \frac{\frac{2}{3} h x^2 + \frac{3,9}{2} h x - \frac{h^3}{6} + 1,69 h}{\frac{3}{2} h x + 2,6 h} = \frac{4x^2 + 11,7x - h^2 + 10,14}{9x + 15,6}.$$

Наконецъ, давленіе около крайняго ребра, относительно котораго мы допускаемъ возможность вращенія, выразится въ тоннахъ слѣдующимъ образомъ:

$$\omega = \frac{2}{3} \times \frac{\text{вертикал. составляющ. равновѣств.}}{u},$$

$$\omega = \frac{2}{3u} \left(\frac{3hx}{2} + 2,6h \right).$$

Пользуясь этими тремя формулами, давая h рядъ послѣдовательно возрастающихъ значеній, составимъ таблицу V.

ТАБЛИЦА V.

h	a	x	$\frac{x}{h}$	$a+x$	$h \left(a + \frac{x}{2} \right)$ (объемъ).	$\frac{a + \frac{x}{2}}{h}$	u	ω на кв. сант.
300 м.	1,30 м.	0,36 м.	0,12	1,66 м.	4,44 к.м.	0,493	0,311 м.	2,01 кил.
400	"	1,12	0,28	2,42	7,44	0,465	0,477	2,39
500	"	1,81	0,36	3,11	11,025	0,441	0,609	2,90
600	"	2,47	0,41	3,77	15,21	0,422	0,725	3,47
700	"	3,12	0,44	4,42	20,02	0,408	0,857	3,96
800	"	3,75	0,47	5,05	25,40	0,397	0,927	4,68

Сравненіе всѣхъ вышеприведенныхъ таблицъ приводитъ къ одному и вполне опредѣленному выводу о нераціональности устройства стѣнъ шлюзовъ съ вертикальными гранями со стороны камеры, какъ въ смыслѣ бесполезной затраты лишняго матеріала, такъ и въ смыслѣ невыгоднаго распредѣленія этого матеріала по сѣченію, а потому примѣненіе такого профиля можетъ быть оправдываемо только тамъ, гдѣ дѣйствительно приходится быть чрезвычайно экономнымъ по отношенію къ расходу воды.

§ 12. Опредѣленіе толщины стѣны шлюза въ томъ случаѣ, когда земляная засыпка вслѣдствіе сильнаго увлаженія можетъ производить давленіе больше гидростатическаго. При выводѣ вышеприведенныхъ формулъ мы предполагали, что давленіе со стороны земляной засыпки не можетъ быть болѣе давленія столба воды той-же высоты, но мы оговорились, что засыпка должна быть произведена съ тою

тщательностью, которая примѣняется при возведеніи водоудержательныхъ плотинъ.

Мы говорили также, что при несоблюденіи этого условія засыпка можетъ производить давленіе на стѣну какъ жидкость, плотность которой почти вдвое болѣе плотности воды, т. е. давленіе почти вдвое болѣе, чѣмъ принято въ вышеприведенныхъ расчетахъ.

Само собой разумѣется, что инженеръ, которому предстоитъ производить ремонтъ шлюза, прежде чѣмъ опорожнить его отъ воды, отдастъ себѣ ясный отчетъ, хотя-бы при помощи спеціальнаго изслѣдованія, о характерѣ и состояніи той загрузки, которая имѣется за стѣнами шлюза, и въ крайнемъ случаѣ, если уже онъ предвидитъ возможность вышеупомянутаго явленія, то предпочтетъ замѣнить на нѣкоторую высоту имѣющуюся засыпку новымъ грунтомъ.

Тѣмъ не менѣе ввиду того, что иногда несмотря на всѣ мѣры предосторожности невозможно бываетъ предотвратить подобное увлажненіе земляной засыпки, желательно выяснить, какова должна быть толщина стѣны шлюза, когда этотъ послѣдній опорожненъ, и, слѣдовательно, на наружную грань ея засыпка производитъ давленіе вдвое болѣе, чѣмъ гидростатическое.

Разсматривая типъ стѣны съ трапециoidalнымъ сѣченіемъ и одинаковымъ уклономъ граней и сохраняя тѣже обозначенія, мы, подобно тому какъ и раньше, получимъ, что равнодѣйствующая вѣса стѣны и бокового давленія засыпки будетъ имѣть (черт. 4)

горизонтальную составляющую, равную $\gamma \frac{h^2}{2}$,
 вертикальную составляющую, равную $\frac{\gamma h x}{2} + \gamma' (a + x) h$,
 моментъ относительно ребра B равный

$$\frac{\gamma h (h^2 + x^2)}{6} + \gamma' \left(h x^2 + \frac{3}{2} a x h + \frac{a^2 h}{2} \right).$$

Но, такъ какъ мы приняли, что $\gamma = \gamma' = 2\gamma$, то элементы равнодѣйствующей примутъ видъ:

горизонтальная составляющая $2h^2$,

вертикальная составляющая $hx + 2h(a+x) = 3hx + 2ah$,

моментъ относительно ребра $B \frac{7hx^2}{3} + 3ahx + \frac{h^3}{3} + a^2h$,

$$BK = \frac{\text{моментъ равнодѣйствующей}}{\text{вертикальн. составл. равнодѣйств.}} =$$

$$= \frac{\frac{7hx^2}{3} + 3ahx + \frac{h^3}{3} + a^2h}{3hx + 2ah}.$$

$$u = a + 2x - BK = a + 2x - \frac{\frac{7hx^2}{3} + 3ahx + \frac{h^3}{3} + a^2h}{3hx + 2ah},$$

или

$$u = \frac{11x^2 + 12ax - h^2 + 3a^2}{9x + 6a}.$$

Давленіе на квадр. метръ около ребра A , очевидно, равно

$$\frac{2}{3} \times \frac{\text{вертикальн. составл. равнодѣйств.}}{u}.$$

Принимая его равнымъ 60^r , получимъ уравненіе:

$$60 = \frac{2}{3} \cdot \frac{(3hx + 2ah)(9x + 6a)}{11x^2 + 12ax - h^2 + 3a^2},$$

откуда

$$x = \frac{a(180 - 6h) + \sqrt{-270h^3 + 9900h^2 - 30a^2h + 2700a^2}}{9h - 330}.$$

Принимая $a = 1,30$ м., имѣемъ

$$x = \frac{234 - 7,8h + \sqrt{-270h^3 + 9900h^2 - 50,7h + 4563}}{9h - 330}$$

При помощи вышеприведенныхъ формулъ составлена таблица VI.

ТАБЛИЦА VI.

h	a	x	$a + 2x$	$h (a + x)$ (объемъ).	u
3,00 м.	1,30 м.	0,271 м.	1,842 м.	4,713 к.м.	0,107 м.
4,00	"	0,692	2,684	7,968	0,365
5,00	"	1,132	3,564	12,160	0,657
6,00	"	1,633	4,566	17,598	1,061
7,00	"	1,966	5,232	22,862	1,182
8,00	"	2,879	7,058	33,432	2,288

Во всѣхъ вышеприведенныхъ формулахъ мы предпола-
гали, что буква h означаетъ одновременно и высоту стѣны и
высоту подпорнаго горизонта надъ флютбетомъ шлюза; что-же
касается послѣдняго разсмотрѣннаго нами случая, то очевидно,
что при примѣненіи формулъ, къ нему относящихся, h слѣ-
дуетъ давать значеніе, равное высотѣ стѣны, а не высотѣ под-
порнаго горизонта надъ флютбетомъ.

Само собой разумѣется, что не представляетъ особаго
труда вывести болѣе точныя формулы, въ которыхъ были-бы
строгаго разграничены величины H —высота стѣны и h —высота
подпорнаго горизонта надъ флютбетомъ, но намъ кажется из-
лишнимъ продолжать это изслѣдованіе, такъ какъ формулы,
выведенныя при условіи равенства h и H , даютъ вполне на-
дежные результаты и въ то-же время отличаются своей про-
стотой.

Такъ какъ въ нѣкоторыхъ случаяхъ верхъ стѣны дол-
женъ нѣсколько возвышаться надъ горизонтомъ самыхъ вы-
сокихъ водъ, то разница между H и h можетъ быть иногда
очень значительна: на Верхней Сенѣ напримѣръ она дости-
гаетъ 1 метра, а на Марнѣ 1,5 метра. Въ виду этого въ каж-
домъ частномъ случаѣ инженеръ долженъ самъ рѣшить въ
зависимости отъ мѣстныхъ условій, какими формулами ему
слѣдуетъ пользоваться.

§ 13. Нижняя голова шлюза. Нижняя голова шлюза, также какъ и верхняя, состоитъ изъ слѣдующихъ 4-хъ частей: входной и шкафной частей и упорныхъ и обратныхъ стѣнъ.

Входная часть нижней головы составляетъ какъ-бы продолженіе стѣны камеры и дѣлается прямоугольнаго сѣченія, причемъ ширина или толщина ей придается та, которую имѣетъ камерная стѣна въ основаніи. Обыкновенно длина входной части дѣлается около 1 метра. Но если въ ней устраиваются пазы для закладыванія шандоровъ (чтобы можно было производить отдѣльно ремонтъ нижней головы), то необходимо пазы расположить на разстояніи отъ 0,60 до 1,20 метра отъ начала шкафа въ зависимости отъ нагрузки на шандоры и качества кладки.

§ 14. Шкафныя стѣны. Шкафныя стѣны нижней головы дѣлаются тѣхъ-же размѣровъ, что и верхней головы, если конечно короли расположены на одномъ уровнѣ. Имъ придается прямоугольный профиль, подобно тому какъ и во входныхъ стѣнахъ съ тою только разницей, что толщина ихъ меньше на полную глубину шкафа.

Расчетъ устойчивости шкафной стѣны можетъ быть сдѣланъ слѣдующимъ образомъ:

Обозначимъ высоту стѣны черезъ H , толщину черезъ a и высоту воды, производящей боковое давленіе на стѣну, черезъ h .

Вѣсъ погоннаго метра стѣны равенъ $2Ha$ (при $\gamma' = 2^r$).

Моментъ его относительно крайняго ребра равенъ Ha^2 .

Давленіе воды на погонный метръ стѣны равно $\frac{h^2}{2}$.

Моментъ этого давленія относительно того-же ребра равенъ $\frac{h^3}{6}$.

Разстояніе точки пересѣченія равнодѣйствующей съ основаніемъ отъ крайняго ребра равно:

$$u = \frac{\text{моментъ равнодѣйствующій}}{\text{вертикал. составл. равнодѣйств.}},$$

или

$$u = \frac{H a^2 - \frac{h^3}{6}}{2 H a} = \frac{6 H a^2 - h^3}{12 H a}.$$

Давленіе на квадратъ метръ основанія около крайняго ребра равно:

$$\omega = \frac{2}{3} \times \frac{2 H a \cdot 12 H a}{6 H a^2 - h^3} = \frac{16 H^2 a^2}{6 H a^2 - h^3}.$$

Принимая $\omega = 60^r$, получаемъ уравненіе

$$15 (6 H a^2 - h^3) = 4 H^2 a^2,$$

откуда

$$a = h \sqrt{\frac{15 h}{H(90 - 4 H)}}.$$

Если найденная изъ послѣдней формулы величина a окажется больше ширины по основанію камерной стѣны, уменьшенной на полную глубину шкафа, то, очевидно, что въ шкафной части стѣну слѣдуетъ сдѣлать болѣе солидныхъ размѣровъ и тогда, повидимому, рациональнѣе придать ей профиль подобный тому, какой примѣненъ въ камерѣ, т. е. устроить ее со стороны земляной засыпки съ уклономъ.

Для опредѣленія размѣровъ стѣны тогда, конечно, послужить выведенная раньше формула (стр. 23)

$$x = \frac{6 a h - 135 a + \sqrt{-135 h^3 + 3600 h^2 + 150 a^2 h - 3375 a^2}}{120 - 4,5 h},$$

въ которой a представляетъ толщину стѣны поверху, толщину, которая должна быть достаточной для удобнаго и надежнаго закрѣпленія тяжей гальсбанта.

Толщина стѣны по низу будетъ, очевидно, равна $a + x$.

Что касается до величины h , то, хотя она представляетъ высоту горизонта верхняго бѣфа надъ флютбетомъ, лучше ее принять равной H —высотѣ стѣны.

§ 15. Упорныя стѣны. Стѣны, расположенныя непосредственно ниже шкафовъ и составляющія какъ-бы ихъ продолженіе, называются упорными, такъ какъ главное ихъ назначеніе дать надлежащій упоръ для нижнихъ шлюзныхъ воротъ.

М. Магу въ своемъ трудѣ „*Cours de Navigation*“ указываетъ, что онъ имѣлъ случай видѣть три шлюза, въ которыхъ упорныя стѣны отдѣлялись отъ шкафныхъ сплошной трещиной. Когда шлюзъ наполняли водой, трещины открывались, и упорныя стѣны наклонялись въ сторону нижняго бьефа. Когда шлюзъ опоражнивали, онѣ возвращались въ свое первоначальное положеніе.

Подобное возвращеніе на старое мѣсто представляетъ, очевидно, счастливый случай, на который не слѣдуетъ рассчитывать: размѣры упорной стѣны, т. е. длину и ширину слѣдуетъ рассчитать такимъ образомъ, чтобы стѣна не могла имѣть никакихъ движеній, и чтобы, кромѣ того, матеріалъ ея не былъ напряженъ болѣе извѣстнаго предѣла, на примѣръ, чтобы давленіе не превосходило 6 килограм. на квадрат. сантиметръ.

По поводу расчета упорной стѣны первый далъ нѣкоторыя указанія Gauthey (*Canaux de Navigation* p. 64), но предложенный имъ методъ неправиленъ по слѣдующимъ соображеніямъ: онъ не вводитъ въ расчетъ боковой распоръ воротъ стѣны, предполагая, что дѣйствіе его парализуется давленіемъ земляной засыпки, далѣе производить въ кладкѣ совершенно произвольное дѣленіе, чтобы ограничить массивъ, который долженъ сопротивляться давленію, и, наконецъ, онъ для расчета массива ставитъ только условіе, чтобы моментъ его былъ равенъ моменту стѣнки прямоугольнаго сѣченія, имѣющей ширину равную половинѣ высоты воды и длину равную половинѣ ширины шлюза. При такихъ условіяхъ устойчивость въ продольномъ направленіи будетъ обезпечена, но не дается никакихъ гарантій, что напряженіе въ кладкѣ не перейдетъ допускаемаго предѣла.

Постараемся разрѣшить поставленный намъ вопросъ болѣе удовлетворительно. Чтобы упростить расчетъ предполо-

жимъ, что углубленіе шкафа имѣетъ въ планѣ прямоугольное очертаніе, и что линія mn , параллельная королю bb' , представляетъ въ планѣ лицевую поверхность полотна и проникаетъ въ углубленіе шкафа до точки m (черт. 6).

Разсмотримъ наиболѣе невыгодный для устойчивости стѣнъ случай, когда полотна воротъ створены и не передаютъ отъ себя давленія королю.

Когда шлюзъ наполненъ, каждое изъ полотенъ нижнихъ воротъ подвержено дѣйствию трехъ силъ:

1°.—давленію Q , которое вода производитъ на поверхность mn ;

2°.—реакцію N отъ другого полотна, нормальной къ плоскости створа полотенъ и потому нормальной къ продольной оси шлюза;

3°.—реакціи R —стѣны.

Эти три силы, расположенныя въ одной горизонтальной плоскости, взаимно уравниваются, а потому сумма моментовъ ихъ относительно любой точки этой плоскости равна нулю.

Опредѣлимъ величину и направленіе реакціи R стѣны.

Пусть будетъ:

l —половина ширины шлюза между упорными стѣнами нижней головы.

e —углубленіе шкафа.

α —уголъ, составляемый направленіемъ короля съ перпендикуляромъ къ продольной оси шлюза.

Приравнивая нулю сумму моментовъ вышеуказанныхъ силъ относительно точки m , получаемъ уравненіе:

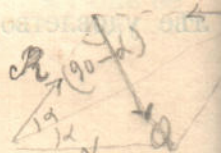
$$N(l+e) \operatorname{tg} \alpha = Q \cdot \frac{1}{2} \frac{l+e}{\cos \alpha},$$

гдѣ

$$N = \frac{Q}{2 \sin \alpha}.$$

Строя въ точкѣ m параллелограмъ силъ N и Q , имѣемъ

$$R^2 = Q^2 + N^2 - 2QN \sin \alpha$$



Подставляя въ это выраженіе вмѣсто N его значеніе $\frac{Q}{2 \sin \alpha}$, получаемъ, что

$$R = \frac{Q}{2 \sin \alpha}.$$

Итакъ мы видимъ, что реакціи R и N равны между собой по величинѣ, изъ чего заключаемъ, что продолженіе линіи mn должно быть бисектрисой угла $g m R$, или другими словами, что давленіе R , передающееся отъ полотна стѣнѣ, составляетъ съ нормальною къ продольной оси шлюза уголъ 2α .

Для опредѣленія давленія Q предположимъ, что съ низовой стороны нѣтъ никакого давленія, что послужитъ въ зачетъ устойчивости, и примемъ, что h —означаетъ возвышеніе горизонта верхняго бьефа надъ низомъ полотна, тогда получимъ

$$Q = \frac{h^2}{2} \cdot \frac{l+e}{\cos \alpha},$$

откуда

$$R = N = \frac{Q}{2 \sin \alpha} = \frac{h^2 (l+e)}{4 \sin \alpha \cos \alpha} = \frac{h^2}{2} \cdot \frac{l+e}{\sin 2\alpha}.$$

Такъ какъ давленіе R составляетъ острый уголъ $90^\circ - 2\alpha$ съ продольной осью шлюза, то могла-бы явиться мысль приписать сторонамъ упорной стѣны направленія параллельное и нормальное къ направленію R , но необходимость устройства шлюзовъ ниже воротъ, а также обратныхъ стѣнокъ, служащихъ для соединенія шлюза съ берегами заставляетъ отказаться отъ этой мысли, и на практикѣ стороны упорныхъ стѣнъ дѣлать параллельными и нормальными къ продольной оси шлюза, поэтому и найденное нами давленіе R нужно разложить по двумъ направленіямъ.

Такимъ образомъ получимъ:

перпендикулярную къ оси шлюза составляющую, равную

$$F = R \cos 2\alpha = \frac{h^2}{2} \cdot \frac{l+e}{\operatorname{tg} 2\alpha}$$

и продольную составляющую, равную

$$F' = R \sin 2\alpha = \frac{h^2}{2} (l + e).$$

Замѣтимъ между прочимъ, что minimum давленія R получается при $2\alpha = 90^\circ$ или $\alpha = 45^\circ$. Въ этомъ случаѣ поперечная составляющая F равна нулю, но за то полотно воротъ получаются чрезмѣрно длинными.

При $2\alpha = 45^\circ$ и, слѣдовательно, $\alpha = 22^\circ 30'$ поперечная составляющая F равна продольной составляющей F' .

Для значеній α между 0° и $22^\circ 30'$ величина F' меньше F , тогда какъ для значеній α между $22^\circ 30'$ и 45° величина F меньше F' .

На Верхней Сенѣ приняли $\operatorname{tg} \alpha = 0,25$, откуда $\alpha = 14^\circ 2' 10''$.

На Марнѣ „ „ $\operatorname{tg} \alpha = 0,3846$, „ „ $\alpha = 21^\circ 2' 15''$.

Bélidor принималъ $\operatorname{tg} \alpha = 0,20$, но Gauthey находитъ эту величину слишкомъ малой и указываетъ, что средняя величина для $\operatorname{tg} \alpha$, выведенная имъ изъ большого числа шлюзовъ, оказалась равною 0,25.

§ 16. Расчетъ упорной стѣны. Чтобы опредѣлить размѣры упорной стѣны $ABCD$ (черт. 6), пренебрежемъ сѣпленіемъ въ сѣченіи mq , отдѣляющемъ эту стѣну отъ шкафной, и въ сѣченіи rs , отдѣляющемъ ту-же стѣну отъ обратной стѣны; не будемъ также вводить въ расчетъ давленія земляной засыпки.

Такимъ образомъ наша задача сводится къ опредѣленію ширины x и длины y прямоугольнаго массива $ABCD$, имѣющаго высоту H и подверженнаго дѣйствію двухъ силъ F и F' , о которыхъ шла рѣчь въ предыдущемъ параграфѣ.

Но сила F можетъ быть замѣнена другою, ей равною и параллельною, дѣйствующею на той-же высотѣ и проходящей черезъ вертикальную ось параллелоипеда $ABCD$. Тоже самое можно сдѣлать и съ силой F' . Такая замѣна вызоветъ появленіе двухъ паръ, разность которыхъ $\frac{Fy - F'x}{2}$ стремит-ся повернуть стѣну около ея вертикальной оси, чѣмъ мы можемъ пренебречь.

Вѣсъ массива $ABCD$ въ тоннахъ равенъ:

$$P = 2 H x y.$$

Если взять моменты силъ P и F относительно продольнаго ребра BC основанія и обозначить через u разстояніе точки пересѣченія равнодѣйствующей основанія отъ ребра BC , то можемъ написать, что

$$u = \frac{P \cdot \frac{x}{2} - F \cdot \frac{h}{3}}{P} = \frac{3 P x - 2 F h}{6 P}.$$

Давленіе на квадратный метръ въ тоннахъ около крайняго ребра BC выразится, слѣдовательно, такъ:

$$(1) \quad \omega = \frac{2}{3} \cdot \frac{P}{u y} = \frac{8 H^2 x^2 y}{3 H x^2 y - F h}.$$

Подобнымъ-же образомъ, беря моменты силъ F' и P относительно ребра DC , найдемъ, что давленіе на квадратный метръ въ тоннахъ около крайняго ребра DC будетъ равно

$$(2) \quad \omega = \frac{8 H^2 y^2 x}{3 H y^2 x - F' h}.$$

Послѣднія два уравненія даютъ x и y въ функціи отъ $y = \frac{F h}{F}$, H , h , F , F' и ω , а именно

$$x^3 = \frac{\omega F^2 h}{F' H (3 \omega - 8 H)}.$$

$$y^3 = \frac{\omega F'^2 h}{F H (3 \omega - 8 H)}.$$

Замѣняя F и F' ихъ выраженіями, выведенными выше, получимъ:

$$x^3 = h^3 \cdot \frac{\omega (l + e)}{2 H (3 \omega - 8 H) \operatorname{tg}^2 2 \alpha}$$

$$y^3 = h^3 \cdot \frac{\omega (l + e) \operatorname{tg} 2 \alpha}{2 H (3 \omega - 8 H)}.$$

Изъ этихъ формулъ видно, что x и y пропорціональны

h , далѣе, что $\frac{y}{x} = \operatorname{tg} 2\alpha = \frac{F'}{F}$, чего и слѣдовало ожидать, такъ что, когда α меньше $22^\circ 30'$, длина y должна быть меньше x .

Примѣняя эти формулы къ шлюзамъ уже существующимъ и принимая $\omega = 60^\circ$, замѣчаемъ, что онѣ даютъ размѣры значительно меньшіе, чѣмъ имѣются въ натурѣ, и что особенно велика разница въ длинѣ y упорной стѣны.

Замѣтимъ къ тому-же, что мы рѣшали задачу при самыхъ неблагопріятныхъ условіяхъ, а именно, мы пренебрегали связью упорной стѣны со шкафной и обратной стѣнками, пренебрегали сопротивленіемъ обратной стѣнки, предполагали, что засыпка не производитъ никакого давленія на упорную стѣну, и, наконецъ, допускали, что ворота вовсе не упираются въ король, т. е., что все испытываемое ими давленіе полностью передаютъ стѣнамъ.

Такое разногласіе между теоріей и практикой объясняется тѣмъ, что строители, сознавая особенную важность упорныхъ стѣнъ, придавали имъ бѣльшій запасъ устойчивости и прочности, чѣмъ въ другихъ частяхъ шлюза. Постараемся выяснитъ этотъ вопросъ подробнѣе.

Положимъ, что мы желаемъ найти эмпирическую формулу, которая давала-бы результаты близкіе къ встрѣчающимся на практикѣ. Для этой цѣли опредѣлимъ x и y изъ того условія, чтобы существовало равенство моментовъ силъ P и F , а также P и F' относительно реберъ основанія стѣны, и найденныя выраженія умножимъ на эмпирическіе коэффиціенты.

Итакъ можемъ написать слѣдующихъ два равенства:

$$\frac{Px}{2} = \frac{Fh}{3}$$

и

$$\frac{Py}{2} = \frac{F'h}{3}.$$

Подставляя вмѣсто P его выраженіе $2xyH$, найдемъ слѣдующія выраженія для x и y

$$x = \sqrt[3]{\frac{F'^2 h}{3 F' H}} \quad \text{и} \quad y = \sqrt[3]{\frac{F'^2 h}{3 F H}}.$$

Далѣ, если выраженіе для x умножить на коэффициентъ 1,5, а выраженіе для y на коэффициентъ 2, то получимъ эмпирическія формулы, которыя даютъ результаты весьма близкіе къ принятымъ на практикѣ.

Если кромѣ того въ выраженіяхъ для x и y замѣнимъ F' черезъ $\frac{h^2}{2} \cdot \frac{l+e}{tg 2\alpha}$ и F' черезъ $\frac{h^2}{2} (l+e)$, то получимъ въ окончательномъ видѣ слѣдующія двѣ формулы:

$$x = 1,5 h \sqrt[3]{\frac{l+e}{6 H tg^2 2\alpha}} \quad \text{и} \quad y = 2 h \sqrt[3]{\frac{(l+e) tg 2\alpha}{6 H}}.$$

Примѣнимъ эти формулы къ слѣдующимъ числовымъ даннымъ шлюзовъ на Мариѣ: $h=4,50$ метр., $l=3,90$ метр., $e=0,60$ м., $tg 2\alpha=0,9$ и $H=5,80$ м.; получимъ $x=3,60$ мет. (въ дѣйствительности имѣется 3,70 мет.) и $y=4,40$ мет. (въ дѣйствительности имѣется 4,30 мет.), тогда какъ вышеприведенныя формулы безъ эмпирическихъ коэффициентовъ ($x^3 = h^3 \cdot \frac{\omega (l+e)}{2 H (3\omega - 8H) tg^2 2\alpha}$ и подобная-же для y) дали-бы для x величину 2,71 м. и для y величину 2,44 м.

Интересно теперь опредѣлить, каково будетъ наибольшее напряженіе въ кладкѣ при примѣненіи вышеуказанныхъ эмпирическихъ формулъ. Расчетъ можемъ вести совершенно такъ-же, какъ и раньше, сохраняя прежній его общій характеръ, такъ обозначимъ черезъ u_1 разстояніе точки пересѣченія равнодѣйствующей основанія отъ крайняго ребра BC и черезъ ω_1 —давленіе въ тоннахъ на квадратн. метръ около послѣдняго ребра.

Тогда

$$u_1 = \frac{x}{2} - \frac{Fh}{3P},$$

но мы знаемъ, что

$$P = 2xyH.$$

$$p\left(\frac{x}{2} - u_1\right) = \frac{Fh}{3}$$

$$\frac{x}{2} - u_1 = \frac{Fh}{3P}$$

Подставляя вмѣсто x и y ихъ выраженія:

$$x = 1,5 \sqrt[3]{\frac{F'^2 h}{3 F' H}} \quad \text{и} \quad y = 2 \sqrt[3]{\frac{F'^2 h}{3 F H}},$$

получимъ:

$$P = 2 \sqrt[3]{3 F F' H h^2}.$$

Подставляя въ выраженіе u_1 найденное нами выраженіе P , получимъ

$$u_1 = \frac{x}{2} - \frac{Fh}{3P} = \frac{x}{2} - \frac{Fh}{2 \sqrt[3]{3 F F' H h^2}} = \frac{x}{2} - \frac{1}{6} \frac{x}{1,5}$$

$$u_1 = \frac{x}{2} - \frac{x}{9} = 0,388... x.$$

Итакъ равнодѣйствующая пересѣкаетъ основаніе на разстояніи отъ крайняго ребра BC нѣсколько больше, чѣмъ $1/3$ толщины x , а потому давленіе на квадр. метръ основанія около крайняго ребра получится по слѣдующей формулѣ:

$$\omega_1 = 2 \left(2 - \frac{3u_1}{x} \right) \frac{P}{xy}.$$

Замѣняя u_1 черезъ $0,388...x$ и $\frac{P}{xy}$ черезъ $2H$, получимъ:

$$\omega_1 = 2 (2 - 3 \cdot 0,388) 2H,$$

или

$$\omega_1 = 3,33 H.$$

Путемъ аналогичныхъ-же расчетовъ получимъ, что

$$u_2 = \frac{y}{2} - \frac{y}{12} = 0,4166 y.$$

Это значеніе u_2 больше $\frac{y}{3}$, а потому ω_2 находимъ изъ выраженія:

$$\omega_2 = 2 \left(2 - \frac{3u_2}{y} \right) \frac{P}{xy}.$$

Подставляя вмѣсто u_2 величину $0,4166 y$ и вмѣсто $\frac{P}{xy}$ величину $2H$, получимъ

$$\omega_2 = 2,86 H.$$

Обращаясь къ примѣру шлюза на Мариѣ, подставляемъ $H=5,80$ мет., получаемъ $\omega_1=19,31$ тон. на кв. метръ, или 1,931 кил. на кв. сант., а $\omega_2=16,58$ тон. на кв. мет., или 1,658 кил. на кв. сант.—давленія значительно меньшія допускаемыхъ.

Въ приведенныхъ выше расчетахъ мы принимали вѣсь кубич. метра кладки въ 2000 кил., а максимальное допускаемое напряженіе въ 6 кил. на кв. сант., но само-собой разумѣется, что въ каждомъ частномъ случаѣ въ зависимости отъ матеріала, изъ котораго возводятся стѣны, цифры эти могутъ колебаться въ довольно широкихъ предѣлахъ.

§ 17. Обратныя стѣнки. Обратныя стѣнки устраиваются по обоимъ концамъ шлюзовой стѣны для надлежащей связи ея съ берегомъ и представляютъ по своей работѣ обыкновенныя подпорныя стѣнки, а потому размѣры ихъ зависятъ главнымъ образомъ отъ высоты земляной засыпки. Ихъ обыкновенно вѣззаютъ въ берегъ на 0,80 метра, считая отъ гребня берегового откоса и на концѣ дѣлаютъ толщиной въ 1 метръ. Sganziп совѣтуетъ вѣззаться въ берегъ даже на 1 метръ.

Фундаментъ шлюза.

§ 18. Общія соображенія. Фундаментъ шлюза при всѣхъ возможныхъ способахъ загрузенія долженъ удовлетворять условіямъ прочности и устойчивости.

Сплошной бетонный фундаментъ имѣетъ монолитное строеніе и при расчетахъ рассматривается какъ упругое тѣло, способное сопротивляться изгибающимъ и скалывающимъ усиліямъ. Величина напряженій въ немъ въ значительной степени зависитъ отъ закона распредѣленія реакціи основанія. Последнее не поддается точному опредѣленію, а потому и проверка прочности и устойчивости сплошного фундамента дѣлается всегда съ нѣкоторымъ приближеніемъ.

Ниже мы укажем примѣняемые способы расчетов сплошныхъ фундаментовъ шлюзовъ, не описывая всѣхъ конструктивныхъ особенностей различныхъ типовъ ихъ, подробно изложеннымъ въ курсѣ внутреннихъ водяныхъ сообщеній проф. О. Г. Зброжена.

Дѣйствующія силы:

1) Опредѣленіе собственнаго вѣса сооруженія по заданнымъ размѣрамъ не представляетъ затрудненія.

2) Напоръ на боковыя стѣны шлюза.

При расчетѣ подпорныхъ стѣнъ и устоевъ мостовъ въ запасъ прочности и устойчивости ихъ обыкновенно предполагаютъ, что распоръ отъ земли дѣйствуетъ горизонтально. При расчетѣ же фундамента шлюза не слѣдуетъ пренебрегать вертикальной составляющей напора земли, такъ какъ она дѣйствуетъ на дно шлюза въ томъ же направленіи какъ вѣсъ самого сооруженія, и вѣсъ воды, заполняющей шлюзъ.

Направленіе давленія E земли на заднюю грань стѣнки въ точности не извѣстно. Предполагаютъ, что E отклоняется вверхъ отъ нормали, проведенной къ поверхности стѣны на уголъ φ естественнаго откоса, такъ что давленіе нормальное къ стѣнкѣ

$$(1) \quad Q = E \cos \varphi.$$

По Boussinesq'у напоръ на вертикальную грань стѣнки

$$(2) \quad E = \frac{1}{2} d h^2 \operatorname{tang}^2 \left(45^\circ - \frac{\varphi}{2} \right) \frac{\cos \left(45^\circ - \frac{\varphi}{2} \right)}{\cos \left(\frac{3\varphi}{2} - 45^\circ \right)}.$$

По Ott'у давленіе, нормальное къ задней грани, составляющей съ горизонталью уголъ ψ ,

$$(3) \quad Q = \frac{d h^2 \sin (\psi - \varphi) \cos \varphi}{2 \sin^2 \psi \sin 2 \varphi [\sqrt{\cotg (\psi - \varphi) + \cotg 2 \varphi} + \sqrt{\cotg (\psi - \varphi) - \cotg \psi}]^2},$$

плечо его $q = \frac{2}{3} h.$

При вертикальной грани стѣнки, т. е. при $\psi=90^\circ$.

$$(4) \quad Q = \frac{d h^2 \cos^2 \varphi}{2 (1 + \sqrt{2} \sin \varphi)^2};$$

обыкновенно-же въ послѣднемъ случаѣ для опредѣленія горизонтальнаго распора примѣняютъ формулу

$$(5) \quad Q = \frac{1}{2} d h^2 \operatorname{tg}^2 \left(45^\circ - \frac{\varphi}{2} \right);$$

въ выше приведенныхъ формулахъ d —означаетъ вѣсъ единицы объема земли, h —высоту стѣны.

Для упрощенія вычисленій по послѣдней формулѣ значеніе $\operatorname{tg}^2 \left(45^\circ - \frac{\varphi}{2} \right)$ можно прямо взять изъ *Hütte*. т. II, стр. 398.

Если уголъ естественнаго откоса φ равенъ нулю, то на основаніи формулъ (2), (4) и (5) для вертикальной стѣны

$$Q = \frac{1}{2} d h^2.$$

Если же задняя грань наклонена къ горизонту подъ угломъ ψ , то по формулѣ (3) при $\varphi=0$ послѣ преобразованія получается

$$Q = \frac{d H^2}{2 \sin \psi}.$$

Если обозначить удѣльный вѣсъ матеріала засыпки черезъ β , то по формулѣ (5) горизонтальное давленіе на вертикальную стѣнку

$$Q = \frac{1}{2} \beta \times 1000 \times h^2 \operatorname{tg}^2 \left(45^\circ - \frac{\varphi}{2} \right).$$

Напоръ воды на вертикальную стѣнку при глубинѣ h равенъ

$$Q_0 = \frac{1}{2} \times 1000 \times h^2, \text{ такъ что}$$

$$Q = Q_0 \cdot \beta \cdot \operatorname{tg}^2 \left(45^\circ - \frac{\varphi}{2} \right) = Q_0 \cdot \alpha$$

$$\text{гдѣ } \alpha = \beta \cdot \operatorname{tg}^2 \left(45^\circ - \frac{\varphi}{2} \right)$$

Для глины, насыщенной водой

$$\beta = 2,04, \varphi = 17^\circ \text{ и } \alpha = 1,117,$$

для глины естественной влажности

$$\beta = 1,55, \varphi = 45^\circ \text{ и } \alpha = 0,266.$$

При наносномъ иловатомъ грунтѣ, не слишкомъ водопроницаемомъ и употребляемомъ въ сухомъ видѣ, $\alpha = 1,2$; для ила же, который является продуктомъ землечерпанія, коэффициентъ этотъ можетъ достигать 2. Въ послѣднемъ случаѣ давленіе грунта можетъ быть разсматриваемо какъ давленіе жидкости ббльшей плотности, которая зависитъ отъ способа производства работъ.

Засыпка за стѣнами шлюзовъ обыкновенно бываетъ влажная, даже если она плотно утрамбована; въ этомъ случаѣ можно положить $\varphi = 30^\circ$ и $\beta = 1,75$, соотвѣтственно чему $\alpha = 0,577$.

Засыпка же, сдѣланная изъ чистаго песку или нѣсколько перемѣшаннаго съ глиной или иломъ, производитъ давленіе немногимъ больше гидростатическаго.

Изъ вышеизложеннаго мы видимъ, что величина коэффициента давленія α въ гидротехническихъ сооруженіяхъ можетъ варьировать въ широкихъ предѣлахъ.

Его minimum для рѣчныхъ и морскихъ сооружений по видимому близокъ къ 0,60, и maximum достигаетъ 1,2 и даже 2, когда приходится имѣть дѣло съ засыпкой изъ илистаго грунта.

Ниже будетъ доказано, что фундаментъ шлюза будетъ находиться въ тѣмъ болѣе выгодныхъ условіяхъ, чѣмъ болѣе боковое давленіе; поэтому при опредѣленіи условія равновѣсія и прочности его слѣдуетъ придавать боковому давленію минимальное значеніе, чтобы получить максимальную реакцію основанія.

3) Давленіе воды снизу на сплошной фундаментъ въ точности неизвѣстно. Hagen и Lagrené рекомендуютъ при опредѣленіи толщины бетоннаго основанія брать полное давленіе, соотвѣтствующее столбу воды высотой отъ подошвы основанія

до уровня ея; иногда же согласно указанію Franzius'a берутъ только $\frac{1}{2}$ и даже $\frac{1}{4}$ этой высоты смотря по плотности грунта. Давленіе воды на подошву фундамента можетъ уменьшиться*) по двумъ причинамъ: а) высота давленія h уменьшается вслѣдствіе тренія и сдѣвленія грунтовой воды на пути x (чет. 7), который приходится водѣ пройти въ грунтѣ до разсматриваемаго мѣста фундамента (a или a'), такъ что напоръ воды измѣряется уже высотой $\epsilon_x \cdot h$, гдѣ $\epsilon < 1$ и измѣняется въ зависимости отъ величины зеренъ грунта.

Въ тѣхъ случаяхъ, когда слой воды весь расположенъ въ грунтѣ, то происходитъ еще всасываніе воды на высоту k вслѣдствіе капиллярности, такъ что напоръ воды измѣряется высотой $= \epsilon_x \cdot (h - k)$ (черт. 7). Для чистаго песку даже при значительномъ разстояніи x коэффициентъ ϵ почти равенъ 1.

б) Вслѣдствіе того, что отдѣльныя частицы грунта плотно прилегаютъ къ подошвѣ фундамента, нѣкоторыя части послѣдняго остаются не смоченными и не испытываютъ давленія воды, такъ что поверхность давленія уменьшается пропорціонально нѣкоторому коэффициенту α (< 1). Такимъ образомъ, обозначая вѣсъ единицы объема воды черезъ γ , находимъ, что давленіе на единицу подошвы фундамента $= \alpha \cdot \epsilon_x \cdot \gamma \cdot h$ или, принимая во вниманіе и всасываніе отъ капиллярности, $= \alpha \cdot \epsilon_x \cdot \gamma \cdot (h - k)$.

Уменьшеніе площади давленія возможно даже въ томъ случаѣ, если основаніемъ служить крупный песокъ, легко пропускающій воду. На первый взглядъ это кажется страннымъ, потому что, если какая-нибудь частица песка и соприкасается плотно съ подошвой фундамента, и вода такимъ образомъ не можетъ непосредственно производить давленіе на соотвѣтствующую часть фундамента, то все же давленіе воды на самую частицу должно полностью передаваться на подошву фундамента, такъ что въ данномъ случаѣ объ уменьшеніи площади давленія, повидимому, и рѣчи быть не можетъ. Въ дѣйствительности же оно возможно. Brennecke доказываетъ это въ *Zeitschrift für Bauwesen* 1892 S. 525 слѣдующимъ

*) Brennecke. Устройство оснований и фундаментовъ стр. 188.

образомъ: положимъ, что основаніемъ фундамента (черт. 8) служить слой I , нѣсколько пропускающій воду; коэффициентъ уменьшенія площади давленія обозначимъ для него черезъ α_1 ; подъ этимъ слоемъ расположенъ второй слой II , болѣе пропускающій воду, коэффициентъ для него обозначимъ черезъ α_2 . Если давленіе на подошву фундамента равняется только $\alpha_1 \cdot t_1 \cdot \gamma$, т. е. если давленіе, испытываемое самимъ слоемъ I , не передается на фундаментъ, то толщина d слоя I опредѣляется изъ условія $d = t_2 - t_1 = \frac{\gamma}{\gamma_2} (t_2 \cdot \alpha_2 - t_1 \cdot \alpha_1)$; здѣсь γ —означаетъ вѣсъ единицы объема воды и γ_2 вѣсъ единицы объема грунта въ слой I .

Brenneske на основаніи своихъ опытовъ даетъ слѣдующую таблицу:

Величина зеренъ песка	Значеніе α
0	0
0,1	0,84498
0,117	0,9553
0,323	0,99242
0,814	0,99577
1,077	0,99855

Коэффициентъ α для даннаго грунта остается постояннымъ, коэффициентъ же ε измѣняется въ зависимости отъ положенія разсматриваемой точки подошвы фундамента; вълѣдствіе этого схема давленія воды принимаетъ одинъ изъ видовъ, указанныхъ на черт. 9. Первая схема соответствуетъ случаю $\alpha < 1$ и $\varepsilon = 1$ (для чистаго песку, величина зеренъ котораго очень мала). Для чистаго песку, зерна котораго болѣе 0,4 мм., можно и коэффициентъ α принимать равнымъ 1, такъ что при толщинѣ бетоннаго слоя d и вѣсѣ единицы объема его $= \gamma_1 = \beta \gamma$ давленіе воды снизу вверхъ на 1 поверхности подошвы фундамента равно

$$p = \gamma (h - \beta d).$$

Если подошва фундамента лежитъ на очень плотной глинѣ, то давленія воды снизу вверхъ обыкновенно не принимаютъ

во вниманіе, такъ какъ такая глина воды вовсе не пропускаетъ; если же она вслѣдствіе какихъ либо причинъ пропитается водою, то давленіе на подошву фундамента можетъ оказаться даже больше, чѣмъ отъ воды той-же глубины. Въ виду этого при такомъ грунтѣ надо быть очень осторожнымъ.

Для уменьшенія давленія на подошву иногда подъ бетонное основаніе кладутъ слой глины, не пропускающей воду. Полагаютъ, что слой глины, толщина котораго T равна отъ 4 до 5 футовъ, обезпечиваетъ противъ фильтраціи т. е. $\varepsilon=0$. Тогда можно допустить, что вѣсъ этого слоя, за вычетомъ потери вѣса отъ погруженія въ грунтовую воду, будетъ противодѣйствовать напору на подошву бетоннаго фундамента, такъ что

$$p = \gamma h - \gamma (\beta_1 - 1) T - \gamma \beta d, \text{ или}$$

$$p = \gamma [h - (\beta_1 - 1) T - \beta d]$$

гдѣ черезъ $\beta_1 \gamma$ обозначенъ вѣсъ единицы объема ограждающаго слоя.

Если же опытомъ найдено, что при толщинѣ ограждающаго слоя T фильтрація все-таки происходитъ, такъ что ε болѣе нуля и равно ε_r , то, опредѣливъ коэффициентъ α уменьшенія поверхности давленія, найдемъ

$$p = \gamma [h - (\beta_1 - 1) (1 - \varepsilon_r \cdot \alpha) T - \beta d].$$

Какъ опредѣляются коэффициенты ε и α см. „Устройство оснований и фундаментовъ“ Бреннеке.

4) Сила тренія въ плоскости соприкасанія подошвы фундамента съ грунтомъ.

Если давленіе B на грунтъ встрѣчаетъ горизонтальную подошву фундамента подъ угломъ δ къ вертикали, причемъ δ не болѣе угла φ естественнаго откоса или угла тренія, то, очевидно, составляющая $B \cdot \operatorname{tg} \delta$ будетъ уравниваться сопротивленіемъ тренія, и вертикальное сѣченіе фундамента шлюза, проведенное черезъ середину его, вовсе не будетъ подвержено сжимающему усилию $B \cdot \operatorname{tg} \delta$. Если же $\operatorname{tg} \delta$ болѣе коэффициента тренія $\mu = \operatorname{tg} \varphi$, то можно предположить, что при сопротивленіи грунта $B \cdot \operatorname{tg} \varphi$ усилие, сжимающее среднее сѣченіе фундамента шлюза, равно $B (\operatorname{tg} \delta - \operatorname{tg} \varphi)$.

Если въ качествѣ засыпки за стѣны примѣняютъ не тотъ грунтъ, который служитъ основаніемъ, то въ выше приведенныя формулы и въ формулы, служащія для опредѣленія напора земли на стѣны, должны быть подставлены различныя значенія φ .

5) Вертикальная реакція основанія равна суммѣ всѣхъ силъ, дѣйствующихъ сверху внизъ, но законъ распредѣленія ея неизвѣстенъ, такъ какъ свойства сыпучихъ тѣлъ въ отношеніи сопротивленія ихъ давленію мало изслѣдованы. Основаніе, обладающее свойствами сыпучаго тѣла, обнаруживаетъ наибольшую реакцію на единицу площади въ мѣстѣ наибольшаго давленія, но законъ увеличенія реакціи въ зависимости отъ увеличенія давленія неизвѣстенъ.

При неравномѣрномъ грунтѣ реакція возрастаетъ также въ болѣе плотныхъ частяхъ его.

Вслѣдствіе такой неопредѣленности въ распредѣленіи реакціи основанія при расчетахъ фундаментовъ шлюзовъ въ силу необходимости приходится дѣлать нѣкоторыя допущенія.

Противодѣйствіе грунта принимается или равномерно распредѣленнымъ, или же предполагаютъ, что реакція грунта возрастаетъ отъ продольной оси шлюза къ краямъ, и эпюра ея въ такомъ случаѣ представляется треугольникомъ, вершина котораго совпадаетъ съ серединой основанія.

Ниже въ расчетахъ будетъ показано, какъ выгодно такое распредѣленіе давленія грунта для прочности фундамента. Поэтому иногда стараются увеличить сопротивляемость грунта подъ боковыми стѣнами шлюза устройствомъ свайнаго ростверка.

Профессоръ Л. Ф. Николаи доказываетъ, что подъ абсолютно твердой опорой всѣ сваи испытываютъ одинаковое давленіе, какъ бы не распредѣлить ихъ, лишь бы общій центръ тяжести всѣхъ свай совпадалъ съ точкой приложенія равнодѣйствующей силъ (см. „Мосты“, томъ I стр. 890 и 895). Распредѣленіе же давленія на сваи отъ тѣла, подверженнаго изгибу, въ точности неизвѣстно.

При расчетѣ шлюзовъ сопротивляемость свай принимается равномерной или неравномерной въ зависимости отъ того,

забиты ли сваи на равныхъ разстояніяхъ другъ отъ друга или на неравныхъ.

Послѣ забивки свай подѣ стѣнами шлюза грунтъ здѣсь нѣсколько уплотняется, но увеличенія сопротивляемости грунта отъ этого уплотненія, пожалуй, лучше не принимать во вниманіе, потому что во многихъ грунтахъ оно съ теченіемъ времени пропадаетъ.

Сопротивленіе свай вводится въ расчетъ полностью безъ коэффициента запаса.

Для опредѣленія его существуетъ много формулъ; изъ нихъ по мнѣнію проф. Л. Ф. Николаи наиболѣе достовѣрны формула Вейсбаха

$$p = \frac{Q^2 h}{(Q+q) e} + (Q+q),$$

гдѣ p —сопротивленіе свай,

Q —вѣсъ бабы,

h —высота паденія ея,

q —вѣсъ свай,

e —погруженіе свай отъ удара,

и формула Rankine'a

$$p = -\frac{2 E \omega e}{l} + \sqrt{\frac{4 E^2 \omega^2 e^2}{l^2} + \frac{4 E \omega Q h}{l}}$$

гдѣ p , Q , h и e имѣютъ тѣ же значенія, что и выше; E коэффициентъ упругости матеріала свай, для сосны $E = 50000 \frac{\text{пуд.}}{\text{дм}^2}$,

l —длина свай,

ω —площадь сѣченія свай.

Первая формула примѣняется при e не особенно малыхъ т. е. не менѣе $\frac{1}{4}$ дм.

Сопротивляемость свай, опредѣленная по формулѣ, будетъ нѣсколько не соответствовать дѣйствительной, а потому въ каждомъ частномъ случаѣ лучше было-бы опредѣлять ее опытомъ.

§ 19. Опредѣленіе толщины сплошного фундамента шлюза. Не такъ еще давно толщину сплошного фундамента

шлюза опредѣляли только по давленію воды снизу вверхъ, между тѣмъ какъ подъ вліяніемъ совокупности всѣхъ силъ, указанныхъ въ предыдущемъ параграфѣ, фундаментъ шлюза можетъ оказаться въ болѣе невыгодныхъ условіяхъ.

Раньше полагали, что фундаментъ стремится приподняться въ средней своей части, изгибаясь подъ давленіемъ воды, направленнымъ снизу вверхъ. Отсюда понятно, почему вовсе не принимали во вниманіе воды, заполняющей шлюзъ, т. е. при расчетахъ не разсматривали того случая, когда шлюзъ наполненъ водою; а между тѣмъ какъ разъ въ этомъ случаѣ въ фундаментѣ могутъ появиться болѣе опасныя напряженія; при томъ изгибѣ фундамента можетъ произойти не вслѣдствіе того, что средняя часть его приподнимается, а на оборотъ отъ того, что при сжимаемомъ грунтѣ края его опускаются подъ вліяніемъ вѣса боковыхъ стѣнъ и напора воды, заполняющей шлюзъ. При такомъ изгибѣ середина фундамента всегда будетъ плотно соприкасаться съ грунтомъ. Обратное возможно только въ томъ случаѣ, если въ самомъ началѣ постройки шлюза давленіе воды на подошву фундамента болѣе вѣса послѣдняго, грунтъ же по концамъ фундамента сжимается очень мало.

Если же основаніемъ служить слабый грунтъ, способный къ осадкѣ, то не смотря на то, что давленіе воды на подошву болѣе вѣса фундамента, послѣдній не перестанетъ соприкасаться съ грунтомъ до тѣхъ поръ, пока въ серединѣ его не произойдетъ излома, такъ какъ при малой эластичности фундамента и сравнительно ничтожномъ увеличеніи сопротивленія такого грунта отъ сжатія по концамъ фундамента часть вѣса боковыхъ стѣнъ будетъ передаваться на грунтъ и по серединѣ фундамента.

Такимъ образомъ опредѣлять толщину бетоннаго фундамента по давленію воды на подошву его слѣдуетъ только въ томъ случаѣ, если основаніемъ служить грунтъ не способный къ осадкѣ, но пропускающій воду, какъ напримѣръ трещиноватая скала.

Введемъ слѣдующія обозначенія:

b—величина пролета; она равна разстоянію между перемычками въ уровнѣ ихъ основанія, если мы разсматриваемъ

періодъ постройки, и равна разстоянію между стѣнами, если беремъ случай, когда шлюзъ уже построенный опорожненъ.

d —искомая толщина, h —возвышеніе уровня воды окружающей перемычки, надъ верхнею поверхностью бетона, вѣсъ воды— γ , вѣсъ бетона— $\beta\gamma$, k —допускаемое напряженіе на изломъ бетона.

Для полосы шириною=1.

$$\frac{k}{6} \cdot \frac{d^2}{d^2} = \frac{[\gamma(h+d) - \beta \cdot \gamma \cdot d] b^2}{8}, \text{ откуда}$$

$$d = \frac{-3 b^2 \cdot \gamma (\beta - 1) + b \sqrt{9 b^2 \cdot \gamma^2 (\beta - 1)^2 + 48 \gamma h \cdot k}}{8 k}.$$

Иногда разсматриваютъ бетонный фундаментъ какъ балку, закрѣпленную на опорахъ; тогда

$$\frac{k d^2}{6} = \frac{[\gamma(h+d) - \gamma \cdot \beta \cdot d] b^2}{12}, \text{ откуда}$$

$$d = \frac{-\gamma (\beta - 1) b^2 + b \sqrt{\gamma^2 (\beta - 1)^2 b^2 + 8 h \gamma k}}{4 k}.$$

Лучше въ запасъ прочности опредѣлять d по первой формулѣ.

Допускаемое напряженіе на изломъ бетона смотря по качеству его, можно принять k =отъ 70000—120000 кил. на кв. мет. или k =2,8—4,8 пуд. на кв. дм. *).

Такія высокія напряженія, превосходящія допускаемыя напряженія на простой разрывъ бетона, можно принимать потому, что формула $k = \frac{M}{W}$ для бетона не совсѣмъ точна, и нейтральная ось бетонной балки при изгибѣ отклоняется въ сторону сжатыхъ волоконъ, такъ что площадь, подверженная растяженію, увеличивается.

Если бетонный фундаментъ предполагается возводить безъ водоотлива и на тщательность производства работъ положиться нельзя, то на изгибъ бетона надо допускать напряженіе меньше названнаго выше.

*) Проф. Л. Ф. Николаи. „Мосты“. I стр. 711.

Разсмотримъ теперь, какъ вліяетъ на фундаментъ шлюза, каждая изъ силъ, указанныхъ въ § 18, въ отдѣльности.

Имѣемъ сѣченіе шлюза, показанное на черт. 10. Для расчета беремъ часть сооруженія, длина которой, измѣряемая нормально плоскости чертежа, равна 1.

Вліяніе вѣса дна и стѣнокъ. Положимъ, что основаніемъ служитъ грунтъ однородный, способный къ осадкѣ. Обозначимъ вѣсъ стѣны (выше фундамента) черезъ G_1 , а давленіе воды на подошву за вычетомъ вѣса фундамента черезъ G_2 (черт. 10). Тогда полное давленіе на подошву фундамента, равное суммѣ реакціи грунта и давленія воды, будетъ $D = G_1 + G_2$.

Пока изгиба еще не произошло, давленіе это приложено на разстояніи $\frac{a+b}{2}$ отъ продольной оси шлюза.

При этомъ изгибающій моментъ равенъ

$$M_g = G_1 \left(b + \frac{a}{2} \right) + G_2 \left(\frac{b+a}{2} \right) - D \left(\frac{b+a}{2} \right);$$

подставляя сюда $D = G_1 + G_2$, находимъ $M_g = G_1 \cdot \frac{b}{2}$.

Моментъ этотъ дѣйствуетъ по часовой стрѣлкѣ и будетъ тѣмъ болѣе, чѣмъ болѣе вѣсъ стѣны и ширина шлюза. Подъ вліяніемъ этого момента верхняя часть фундамента работаетъ на растяженіе, а нижняя на сжатіе; разрушенію болѣе всего подвержено среднее сѣченіе.

Вліяніе давленія воды и земли на внѣшнюю грань стѣны. Давленіе земли E направлено подъ угломъ φ къ горизонту. Вертикальная составляющая его $R = E \cdot \sin \varphi$, горизонтальная $H = E \cdot \cos \varphi$.

Первая сила вызываетъ реакцію грунта $D = E \sin \varphi$. До появленія изгиба D приложено на разстояніи $\frac{a+b}{2}$ отъ оси шлюза. Сила R вызываетъ въ серединѣ фундамента моментъ

$$M_R = E \sin \varphi (a+b) - E \sin \varphi \left(\frac{a+b}{2} \right) = E \sin \varphi \left(\frac{a+b}{2} \right);$$

моментъ этотъ оказываетъ на фундаментъ такое же вліяніе, какъ и M_G отъ вѣса фундамента и стѣнъ.

Моментъ же отъ горизонтальной составляющей напора земли

$$M_H = E \cos \varphi h'$$

изгибаетъ фундаментъ въ обратномъ направленіи; кромѣ того въ немъ вызывается равномерное по всему сѣченію напряженіе на сжатіе, равное $\frac{H}{d \times 1}$, гдѣ d —толщина фундамента.

Полное же напряженіе въ фундаментѣ отъ напора земли при моментѣ сопротивленія $W = \frac{d^2 \times 1}{6}$ будетъ

$$k = \pm \frac{M_R + M_H}{d^2} \cdot 6 - \frac{H}{d} = \pm \frac{6}{d^2} \left[E \sin \varphi \left(\frac{a+b}{2} \right) - E \cos \varphi \cdot h' \right] - \frac{E \cos \varphi}{d}.$$

Верхнее ребро фундамента растянуто подъ вліяніе M_R и сжато подъ вліяніемъ M_H и $H = E \cos \varphi$. Изъ выраженія

$$k = \frac{+E}{d^2} \left[6 \sin \varphi \left(\frac{a+b}{2} \right) - 6 \cos \varphi h' - d \cos \varphi \right]$$

видно, что въ верхнемъ ребрѣ напряженіе равно нулю, если $3 \sin \varphi (a+b) = \cos \varphi (6 h' + d)$.

Вмѣстѣ съ увеличеніемъ a , b и φ увеличивается и напряженіе k . Отсюда между прочимъ слѣдуетъ, что при заданныхъ размѣрахъ шлюза фундаментъ его будетъ находиться въ тѣмъ болѣе выгодныхъ условіяхъ, чѣмъ меньше уголъ φ естественнаго откоса засыпки; для стѣнъ же шлюза имѣетъ мѣсто обратное явленіе. Отсюда слѣдуетъ, что размѣры стѣнъ шлюза надо опредѣлять по наибольшему возможному давленію земли, а фундаментъ его—по наименьшему.

Вліяніе воды, заполняющей шлюзъ см. черт. (11). При глубинѣ h горизонтальный напоръ воды на вертикальную

стѣнку $= \frac{\gamma h^2}{2}$; вѣсъ воды $= h b \gamma$; сопротивленіе грунта также $= h b \gamma$.

Моментъ этихъ силъ относительно середины фундамента

$$M_w = \frac{\gamma h^2}{2} \left(\frac{h}{3} + \frac{d}{2} \right) + hb\gamma \frac{b}{2} - hb\gamma \left(\frac{a+b}{2} \right).$$

$$M_w = \frac{\gamma h}{2} \left[h \left(\frac{h}{3} + \frac{d}{2} \right) - ab \right].$$

Кромѣ того подъ вліяніемъ горизонтальнаго усилія $\frac{\gamma h^2}{2}$ въ фундаментѣ шлюза равномерно по всему вертикальному сѣченію вызывается напряженіе на растяженіе, равное $\frac{\gamma h^2}{2d}$.
Общее напряженіе въ сѣченіи, взятомъ по оси шлюза, будетъ

$$k = \pm \frac{3\gamma h}{d^2} \left[h \left(\frac{h}{3} + \frac{d}{2} \right) - ab \right] + \frac{\gamma h^2}{2d};$$

напряженіе верхняго ребра

$$k_o = \frac{\gamma h}{d} \left(\frac{h^2}{d} + 2h - \frac{3ab}{d} \right).$$

Отсюда видно, что фундаментъ подъ вліяніемъ воды, заполняющей шлюзъ, будетъ работать на растяженіе въ верхней своей части, если $\frac{h^2}{d} + 2h > \frac{3ab}{d}$; будетъ сжать при

$\frac{h^2}{d} + 2h < \frac{3ab}{d}$, и напряженіе на растяженіе $k_o = 0$ при $\frac{h^2}{d} + 2h = \frac{3ab}{d}$, т. е. при $h = -d + \sqrt{d^2 + 3ab}$.

Напряженіе на сжатіе въ верхнемъ ребрѣ получается только при маломъ h ; наоборотъ при большой глубинѣ h тамъ получается растяженіе, какъ и отъ момента, вызваннаго вѣсомъ дна и стѣнокъ.

Вліяніе силы тренія подъ подошвой стѣны. Эта сила направлена отъ середины во вѣншнюю сторону обратню напору земли на стѣну и даетъ относительно средняго сѣченія моментъ, дѣйствующій обратню часовой стрѣлкѣ, слѣдовательно, поднимаетъ кривую давленія и тѣмъ болѣе, чѣмъ болѣе вертикальная составляющая давленія на грунтъ.

Вышеизложенное уже выясняетъ ходъ расчета. Но здѣсь надо замѣтить, что какъ величина вѣшнихъ силъ, такъ и распредѣленіе ихъ въ сѣченіи фундамента до нѣкоторой степени гадательны. Въ настоящее время и нѣтъ возможности указать точную зависимость между напряженіями фундамента и силами, дѣйствующими на него. Относительно этого требуется сдѣлать еще много весьма тщательныхъ изслѣдованій; но здѣсь прежде всего является громадное затрудненіе въ опредѣленіи распредѣленія давленія отъ сооруженія на основаніе и реакціи послѣдняго. Если бы былъ въ точности извѣстенъ модуль упругости того матеріала, изъ котораго предполагается сдѣлать фундаментъ шлюза, и законъ измѣненія сопротивленія грунта въ зависимости отъ увеличенія давленія, то можно было бы почти точно опредѣлить положеніе кривой давленія во всѣхъ сѣченіяхъ шлюза, а отсюда напряженіе матеріала и давленіе на грунтъ. При этомъ можно примѣнить слѣдующій способъ расчета: сначала предположить, что реакція грунта по всей ширинѣ фундамента распредѣляется равномерно, построить при такомъ условіи кривую давленія, на основаніи послѣдней опредѣлить осадку крайнихъ точекъ фундамента подъ вліяніемъ изгибающихъ моментовъ. Зная величину осадки и законъ измѣненія сопротивленія грунта, можно опредѣлить величину давленія на грунтъ. Послѣ этого опять надо построить кривую давленія, полагая въ основаніе новаго расчета неравномерное распредѣленіе сопротивленія грунта, опредѣленное предыдущимъ построеніемъ; такимъ образомъ послѣ цѣлаго ряда послѣдовательныхъ приближеній можно достигнуть довольно точнаго результата. До тѣхъ же поръ, пока нѣтъ возможности сдѣлать точнаго расчета сплошнаго фундамента шлюза, надо во время работъ прилагать всѣ усилія къ тщательному выполненію сооруженія. Рациональный способъ производства работъ можетъ если не совсѣмъ, то въ значительной мѣрѣ парализовать всѣ неточности расчета. Судя по тѣмъ несчастнымъ случаямъ, когда въ фундаментѣ шлюза или дока появлялись продольныя трещины во время работъ или послѣ, можно полагать, что полезно дѣлать сначала стѣны шлюза, возводить ихъ насколько возможно выше

и произвести за ними засыпку, чтобы основаніе подъ ними послѣ осадки пришло въ равновѣсіе, и уже послѣ этого только приступать къ возведенію фундамента шлюза. Возможенъ такой способъ производства работъ въ томъ случаѣ, когда можно исполнѣ осушить котлованъ при помощи водоотлива, или же, когда шлюзъ строится при помощи сжатого воздуха. Последнее представляетъ и ту выгоду, что дно шлюза строится, не подвергаясь изгибу, почти подъ тѣмъ же давленіемъ, какое будетъ вызываться въ послѣдствіи водою, заполняющею шлюзъ; а насколько опасно вліяніе послѣдней можно судить по образованію продольной трещины въ серединѣ фундамента сухого дока въ Nieuwediep'ѣ *).

Внутреннее очертаніе дока имѣло криволинейную форму. На верху разстояніе между противоположными стѣнами равнялось 23 м. Отмѣтка верха стѣны выше уровня воды (+1,285 м.); отмѣтка подошвы фундамента (—10,63 м.), отмѣтка дна дока по оси (—7,55), такъ что толщина его здѣсь = 3,08 м.; толщина стѣнъ на верху = 2 м.; внѣшнія грани ихъ вертикальны.

Основаніемъ служить наносный песокъ. Докъ возводился на свайномъ ростверкѣ; котлованъ былъ осушенъ водоотливомъ. Къ работамъ было приступлено въ іюнѣ 1859 года. Прежде чѣмъ приступать къ кладкѣ свода ограничивающаго дно сверху и состоящаго изъ трехъ колець, сначала сдѣлали нижнюю часть фундамента до отмѣтки (—8,38) т. е. толщиной 2,25 м. (черт. 12) и стали возводить боковыя стѣны, съ такимъ расчетомъ, чтобы къ кладкѣ свода, ограничивающаго дно дока сверху и состоящаго изъ трехъ отдѣльныхъ колець, приступить уже послѣ того, какъ стѣны будутъ возведены до уровня пята свода. Но когда стѣны были возведены до отмѣтки (—7), по всей длинѣ дна дока по оси обнаружилась трещина шириною 1 мм. Горизонтъ воды въ котлованѣ все время поддерживался довольно низко, и было очевидно, что изломъ фундамента произошелъ не отъ того, что середина его приподнялась подъ напоромъ воды снизу, а на оборотъ отъ того, что

*) *Zeitschrift für Bauwesen*. 1892. S. 531.

края его подъ вліяніемъ вѣса стѣнъ опустились. Затѣмъ стѣны были возведены до отмѣтки ($-3,9$) и не смотря на то, что онѣ тотчасъ же засыпались сзади, такъ что напоръ отъ земли дѣйствовалъ благопріятно, ширина трещины увеличилась до 20 мм., и кладка по краямъ ея приподнялась на 10—15 мм. Последнее показываетъ, что трещина была сквозная; изгибъ фундамента по срединѣ прекратился, фундаментъ послѣ этого приподнялся надъ ростверкомъ, такъ что могло имѣть мѣсто полное давленіе воды на подошву.

Доведя стѣны до отмѣтки ($-3,9$), работы прекратили и весь котлованъ наполнили водой.

Въ маѣ 1860 г. вода вся была выкачана изъ котлована; при этомъ оказалось, что ширина трещины увеличилась до 77 мм., боковыя же стѣны на 33 мм. осѣли и не смотря на напоръ со стороны земли разстояние между ними увеличилось на 17 мм. Отсюда видно, что продольная трещина расширилась еще на 57 мм. подъ вліяніемъ воды, заполнявшей докъ.

Послѣ того какъ котлованъ былъ осушенъ, закончили стѣны и выложили сводъ изъ трехъ отдѣльныхъ колець, но не смыкали его въ срединѣ надъ трещиной. Затѣмъ докъ опять наполнили водой и опять осушили его, послѣ чего уже не обнаружилось никакихъ новыхъ деформаций, такъ что рѣшили сомкнуть сводъ въ ключѣ и установить желѣзныя ворота. Послѣ вторичнаго заполнения дока водой и выкачивания опять произошелъ изломъ дна на протяженіи 26 м.

Исслѣдованіе показало, что разрушены только два верхнія кольца свода, нижнее же кольцо осталось цѣло. Отсюда заключили, что вода прошла черезъ водопроводные каналы въ стѣнахъ, концы которыхъ не были еще заложены кладкой, и можетъ быть черезъ поперечную трещину проникла въ шовъ между нижнимъ кольцомъ и двумя верхними и приподняла послѣднія. Такимъ образомъ и въ этомъ случаѣ изломъ дна произошелъ не подъ вліяніемъ давленія воды на подошву фундамента, потому что если бы это было такъ, то приподнялись бы не два верхнія кольца, а весь фундаментъ.

Полная высота стѣнокъ дока въ Nieuwediep'ѣ достигала 11,915 м. При такой высотѣ горизонтальная составляющая

давленія земли на вышнія грани стѣнъ конечно достигала значительной величины. Если принять, что въ данномъ случаѣ для земли выше отмѣтки (-8) уголъ естественнаго откоса $= 33^\circ$ и вѣсъ 1 куб. м. земли $= 1,81$ тон., а ниже отмѣтки (-8) уголъ естественнаго откоса $= 24^\circ$ и вѣсъ земли $= 1$ тоннѣ, то горизонтальный распоръ былъ около 31,5 тон., а между тѣмъ противоположные края продольной трещины приподнялись на различную высоту и вовсе не соприкасались другъ съ другомъ.

Отсюда можно заключить, что среднее сѣченіе дна вовсе не было подвержено сжимающему усилю, такъ что горизонтальная составляющая давленія земли на боковыя грани стѣнъ уравнивалась исключительно силой тренія, приложенной въ плоскости соприкасання подошвы фундамента съ грунтомъ. Это ясно показываетъ, что нѣтъ основанія пренебрегать этой силой при расчетахъ.

Расчетъ фундамента шлюза ничѣмъ не отличается отъ расчета фундамента дока; поэтому ниже приводимъ расчетъ послѣдняго, сдѣланный Brennecke и приведенный въ журналъ *Zeitschrift für Bauwesen* 1892.

Вѣсъ засыпки за стѣнами выше горизонта грунтовыхъ водъ принимается равнымъ 1,77 тон. въ куб. мет., а вѣсъ земли, погруженной въ грунтовые воды $= 1$ тон. Уголъ естественнаго откоса для земли выше воды принимается равнымъ 33° , а подъ водою 25° . Вѣсъ цементнаго бетона съ гранитнымъ щебнемъ и гранитной или кирпичной облицовки $= 2,3$ тон. въ куб. мет.

На черт. 13 прежде всего опредѣлено давленіе на грунтъ подъ боковыми стѣнами и фундаментомъ, если первыя возведены сначала начерно до горизонта ($+1,5$) выше (0) и затѣмъ между ними сдѣлано днище безъ облицовки. Дальнѣйшее возведеніе стѣнъ до отмѣтки ($+3,5$) предполагается сдѣлать одновременно съ облицовкой всего сооруженія. Разсмотрѣно два случая: во-первыхъ, когда докъ строится при помощи сжатого воздуха (случай А) т. е. подъ водою и, во-вторыхъ, когда сооруженіе возводится въ осушенномъ котлованѣ (случай В). При расчетѣ предполагается, что средній горизонтъ

(± 0) продержится во все время производства работъ. Силы, соотвѣтствующія первому случаю, на чертежахъ обозначены буквой p , поставленной справа наверху, а второму случаю—буквой t . На черт. 13 для случая A давленіе земли E^p на боковую грань стѣны представлено многоугольникомъ, заштрихованнымъ горизонтальными линіями, прочія силы для того же случая A представлены многоугольниками, заштрихованными линіями нормальными соотвѣтствующимъ плоскостямъ давленія. Силы для случая B заштрихованы наклонно къ соотвѣтствующимъ плоскостямъ. Въ этомъ случаѣ дѣйствуетъ только давленіе земли.

Разсмотримъ сначала построенія, сдѣланныя на черт. 13 для того случая (A), когда докъ сооружается при помощи сжатого воздуха.

При этомъ предполагается, что основаніемъ служить чистый, не очень плотный песокъ, въ которомъ напоръ воды на подошву фундамента проявляется полностью (A_1^p и A_2^p).

Прежде всего опредѣлены величины и точки приложенія силъ, приложенныхъ къ различнымъ участкамъ, измѣреніе которыхъ, нормальное къ плоскости чертежа, равно 1 мет.

Такимъ образомъ получены силы:

$E_1^p, E_2^p, E_3^p \dots \dots \dots$	давленіе земли	} на внѣшнюю грань стѣны.
$S_1^p, S_2^p, S_3^p \dots \dots \dots$	давленіе воды	

равнодѣйствующія этихъ силъ для отдѣльныхъ участковъ обозначены черезъ: W_1, W_2, W_3 затѣмъ:

$W_1^p, W_2^p, W_3^p, W_4^p, W_5^p, W_6^p$ —давленіе воды на переднюю грань стѣны, причемъ сила W_6^p означаетъ давленіе на скошенную грань, которая впоследствии будетъ служить плоскостью опоры фундамента при возведеніи послѣдняго.

Собственный вѣсъ для отдѣльныхъ частей стѣны обозначенъ черезъ G_1, G_2 и G_3 ; силы эти проходятъ черезъ центры тяжести соотвѣтствующихъ площадей.

Для указанныхъ силъ слѣва вычерченъ сплошными линіями многоугольникъ силъ. Послѣ этого можно опредѣлить ту точку, въ которой равнодѣйствующая D_3^p всѣхъ силъ встрѣчаетъ по-

дошву стѣны. Удобиѣ всего сдѣлать это вычерчиваніемъ веревочнаго многоугольника.

Въ данномъ случаѣ оказалось, что D_3^P проходитъ какъ разъ черезъ середину подошвы разсматриваемой части дока, такъ что реакція земли B_1^P представляется въ видѣ прямоугольника. Изъ многоугольника силъ находимъ что вертикальная составляющая B_1^P равнодѣйствующей D_3^P равна 170,3 тн. Ширина подошвы разсматриваемой части = 8,42 м. Слѣдовательно реакція грунта = $\frac{170,3}{1 \times 8,42} = 20,23 \frac{\text{тн.}}{\text{м}^2}$

Отъ линіи $\epsilon' \pi'$ внизъ отложено сначала давленіе воды на подошву фундамента. Давленіе это при глубинѣ 16,5 м. равное $16,5 \frac{\text{тн.}}{\text{м}^2}$, въ масштабѣ силъ отложено въ видѣ ординатъ $\epsilon \epsilon'$, такъ что прямоугольникъ $\epsilon' \pi' \epsilon \pi$ выражаетъ давленіе воды, направленное вверхъ. Затѣмъ отъ линіи $\epsilon \pi$ въ предѣлахъ подошвы стѣны въ видѣ прямоугольника съ высотой $\pi \gamma = 20,23$ тн. отложена опредѣленная выше реакція грунта. Что же касается реакціи грунта въ предѣлахъ остальной части дна дока, то прежде всего надо замѣтить, что равнодѣйствующая силъ W_7 и G_4 не проходитъ черезъ середину подошвы этой части; въ дѣйствительности же обѣ половины дока строятся одновременно и представляютъ одно цѣлое, а потому реакція грунта представится въ видѣ прямоугольника. Величина ея опредѣляется слѣдующимъ образомъ: вѣсъ соответствующей части воды заполняющей шлюзъ $W_7^P = 11,5 \times 8,25 = 94,875$ т., вѣсъ дна $G_4 = \frac{8,25 + 9,85}{2} \times 5 \times 2,3 = 104,075$ т.; итого $W_7^P + G_4 = 94,875 + 104,075 = 198,95$ т. Давленіе это должно уравниваться реакціей грунта и напоромъ воды на подошву; послѣдній равенъ $A_1^P = 16,5 \times 9,85 = 162,525$ т.; слѣдовательно полная реакція грунта на разсматриваемую часть днища $B_2^P = 198,95 - 162,525 = 36,425$ т. или $\frac{36,425}{9,85} = 3,7$ т. на 1 кв. метръ. Послѣдняя величина нанесена на чертежѣ ниже линіи $\epsilon \pi$.

Такимъ образомъ находимъ, что для случая *A* распределе-
 ніе реакціи грунта представляется площадью $\varepsilon \pi \gamma \beta \alpha \eta$.

Въ данномъ случаѣ совершенно случайно равнодѣйствующая D_3^p прошла черезъ середину подошвы разсматриваемой части. Если бы этого не было, то законъ измѣненія реакціи грунта представился бы въ видѣ трапеціи; крайнія ординаты послѣдней опредѣляются по формулѣ неравномѣрнаго сжатія

$$\sigma = \frac{R}{s} \left(1 \pm \frac{6a}{s} \right),$$

гдѣ R —сжимающее усиліе.

s —ширина подошвы

a —отклоненіе точки приложенія

давленія R отъ середины подошвы.

Во второмъ случаѣ (*B*) предполагается, что докъ строится совершенно сухомъ котлованѣ, такъ что давленія воды на стѣны и фундаментъ нѣтъ.

На чертежѣ 13 слѣва построены пунктирными линіями многоугольникъ силъ. Для разсматриваемой части стѣны равнодѣйствующая D_3^t проходитъ ближе къ вышнему ребру, слѣдовательно реакція грунта B_1^t представится въ видѣ трапеціи. Реакція грунта подъ дномъ B_2^t выражается площадью

прямоугольника высота котораго $\varepsilon' \eta' = \frac{G_4}{9,85} = \frac{104,075}{9,85} = 10,57$ т., такъ что законъ распределе-
 нія реакціи грунта для случая *B* представляется многоугольникомъ $\varepsilon' \pi' \gamma' \beta' \alpha' \eta'$.

Горизонтальный распоръ отъ засыпки въ обоихъ случаяхъ уравнивается силой тренія, проявляющейся въ плоскости соприкасанія подошвы сооруженія съ грунтомъ. Величина его опредѣляется изъ многоугольниковъ силъ: для случая *A* онъ равенъ F^p , для случая *B*— F^t . Силы F^p и F^t почти равны.

На основаніи сдѣланнаго расчета можно судить, не превосходитъ ли наибольшее давленіе на грунтъ допускаемаго.

Если силы, дѣйствующія по направленію сверху внизъ, измѣнятся, то и давленіе на грунтъ будетъ] иное. Brenneske

въ своихъ расчетахъ предполагаетъ, что оно будетъ увеличиваться или уменьшаться подъ дномъ и подъ стѣной на одну и ту же величину, такъ что стороны многоугольника давленія грунта будутъ оставаться параллельными прямымъ, ограничивающимъ площади $\alpha\beta\gamma\delta$ или соответственно $\alpha'\beta'\gamma'\delta'$. Слѣдовательно при значительномъ уменьшеніи общаго давленія на землю сначала уменьшается въ высотѣ часть $\varepsilon'\eta'\delta'\pi'$ (и соответственно $\varepsilon\eta\delta\pi$) и наконецъ трапеція $\alpha'\beta'\gamma'\delta'$ превращается въ треугольникъ, одна сторона котораго совпадаетъ съ направлениемъ $\gamma'\delta'$, другая остается параллельной $\alpha'\delta'$, а третья—параллельной $\beta'\gamma'$.

Если работы по устройству дока или шлюза производятся при помощи сжатого воздуха, то сначала дѣлають сооруженіе вчернѣ, возводятъ стѣны на достаточную высоту, потомъ закрываютъ его, выкачиваютъ воду и послѣ этого приступаютъ къ облицовкѣ его.

Слѣдуетъ убѣдиться расчетомъ насколько проченъ докъ или шлюзъ въ такомъ положеніи. Соотвѣтствующія графическія построенія показаны на черт. 14. При этомъ болѣе высокія воды можно считать не опасными, такъ какъ въ случаѣ надобности шлюзъ опять можно заполнить водою. Если же шлюзъ или докъ дѣлается въ сухомъ котлованѣ, то облицовка обыкновенно производится одновременно съ кладкой всего массива. Графическія построенія, сдѣланныя на черт. 14 по отношенію къ такому шлюзу, соотвѣтствуютъ тому случаю, когда кладка дна и стѣнъ вполне закончена, при чемъ на стѣны дѣйствуетъ напоръ воды.

Разсмотримъ шесть различныхъ случаевъ, которые составляютъ двѣ группы. Къ первой группѣ принадлежатъ случаи, когда шлюзъ опорожненъ и горизонтъ грунтовыхъ водъ стоитъ на высотѣ (+1,5). Для этой группы, которая обнимаетъ четыре случая (I^p , II^t , III^t и IV^p), силы обозначены римскими буквами съ римскими цифрами.

Ко второй же группѣ (нѣмецкія буквы съ арабскими цифрами) относятся два случая (1^p и 2^t), при самомъ низкомъ горизонтѣ грунтовой воды (—1,5). Буквы p и t имѣютъ то же значеніе, что и выше. Буква a , поставленная слѣва

внизу, обозначаетъ, что при расчетѣ принято полное давленіе воды на подошву. Отсутствие этого значка показываетъ, что давленія воды на подошву нѣтъ.

Силы въ многоугольникахъ силъ (черт. 14), направленія ихъ по отношенію къ контурамъ поперечнаго сѣченія сооруженія, многоугольники давленія на подошву и наконецъ кривыя давленія соотвѣтственно разсматриваемымъ шести случаямъ отмѣчены различными линиями слѣдующимъ образомъ:

Обозначенія:	Разсматриваемые случаи:
aI^p —————	Горизонтъ воды (+1,5); докъ пустой; полное давленіе воды на подошву; работы производятся подъ водой сжатымъ воздухомъ.
II^t - - - - -	Горизонтъ воды (+1,5); докъ пустой; давленіе воды на подошву=0; докъ строится въ сухомъ котлованѣ.
$aIII^t$ — - - - -	Горизонтъ воды (+1,5); докъ пустой; полное давленіе воды на подошву; докъ строится въ осушенномъ котлованѣ.
IV^p - - - - -	Горизонтъ воды (+1,5); докъ пустой; давленіе воды на подошву=0; работы производятся подъ водой при помощи сжатого воздуха.
$a1^p$ - - - - -	Горизонтъ воды (+1,5); докъ пустой; полное давленіе на подошву; работы производятся подъ водой при помощи сжатого воздуха.
$a2^t$ - - - - -	Горизонтъ воды (-1,5); докъ пустой; полное давленіе на подошву; работы производятся въ осушенномъ котлованѣ.

При этомъ надо замѣтить, что для боковой стѣнки построено только двѣ кривыя давленія, именно для горизонта воды +1,5 (сплошная линія) и -1,5 (пунктирная линія). Эти кривыя соотвѣтствуютъ двумъ группамъ изслѣдованій и касаются съ различными кривыми давленія построенными для дна. Двѣ кривыя давленія, прошедшія выше фундамента, соотвѣтствуютъ тому предположенію, когда при горизонтѣ +1,5 вода вовсе не давитъ на подошву законченнаго шлюза или

готового только вчернѣ т. е. когда основаніемъ сооруженія служить сплошная скала или глина очень плотная и совершенно не пропускающая воду.

Однако при такихъ условіяхъ въ фундаментахъ не могутъ проявиться опасныя напряженія, потому что при этомъ долженъ сначала осуществиться прогибъ внизъ, который въ случаѣ заложения сооруженія на глинѣ плотной, но все же способной до нѣкоторой степени къ осадкѣ, вызываетъ около середины болѣе значительную реакцію грунта, благодаря чему равнодѣйствующая послѣдней перемѣщается въ сторону продольной оси шпоза и кривая давленія понижается. Впрочемъ, если въ нижней части дна и появятся трещины, то онѣ все же не такъ опасны, какъ трещины вверху, потому что разорванный внизу фундаментъ еще можетъ выдерживать сжимающее усиліе и останется плотнымъ.

Если же основаніемъ служить плотная скала, то прогиба внизъ и не можетъ быть. Если въ скалѣ трещинъ нѣтъ, такъ что вода подъ подошву проникать не можетъ, то нѣтъ надобности и дѣлать дно значительной толщины. Въ такихъ случаяхъ обыкновенно ограничиваются выравниваніемъ подошвы.

Надо еще замѣтить, что на многоугольникѣ силъ усилія, дѣйствующія на боковую грань стѣны, нанесены только соответственно двумъ главнымъ группамъ: для горизонта $(+1,5)$ они отмѣчены сплошными линиями, а для горизонта $(-1,5)$ пунктирными. Равнодѣйствующія ихъ обозначены черезъ R_v и \mathfrak{R}_v . При построеніи многоугольниковъ силъ, соответствующихъ всѣмъ шести случаямъ, R_v и \mathfrak{R}_v переносятся только параллельно самимъ себѣ.

На чертежѣ 13 опредѣлено, что во время постройки и засыпки боковой стѣны сила тренія равна F^p или соответственно F^t . При построеніяхъ указанныхъ на черт. 14 предположено, что эта сила F будетъ существовать и въ томъ случаѣ, если вертикальная нагрузка измѣняется. По величинѣ она равна $B_1 tg \varphi$, если $B_1 tg \varphi$ не болѣе F ; въ противномъ же случаѣ сила F считается равной F^p или соответственно F^t . Равнодѣйствующая силы тренія и силы B_1 или \mathfrak{B}_1 обозначена черезъ M или \mathfrak{M} .

Для дальнѣйшаго изслѣдованія прочности дока, построеннаго на совершенно проницаемомъ грунтѣ при помощи сжатого воздуха и облицованнаго послѣ, какъ показано на черт. 15, рассмотрено два случая: именно графическія построения сдѣланы для наивысшаго горизонта (+3) и наиболѣе низкаго (—1,5). Черезъ D_1 на многоугольникѣ силъ чертежа 15 обозначено давленіе на среднее сѣченіе фундамента при горизонтѣ воды (+3), черезъ \mathfrak{D}_1 —при горизонтѣ (—1,5), при чемъ D'_1 и \mathfrak{D}'_1 (со значкомъ) соотвѣтствуютъ тѣмъ случаямъ, когда сила тренія не принимается во вниманіе, тѣ же буквы D_1 и \mathfrak{D}_1 (безъ значка) показываютъ, что при расчетѣ принята во вниманіе и сила тренія.

Построеніе, сдѣланное на чертежѣ 15, показываетъ, что наибольшее напряженіе въ фундаментѣ получается въ случаѣ 1^й т. е. когда облицовка производится при горизонтѣ (—1,5). При этомъ согласно многоугольнику силъ нормальное давленіе на среднее сѣченіе дна $R_s^p = 127$ тн.; оно проходитъ на разстояніи $\xi = 0,92$ м. отъ нижняго ребра, такъ что кривая давленія выходитъ изъ средней трети сѣченія; если не принимать во вниманіе сопротивленія верхней части растягивающимъ усиліямъ, наибольшее напряженіе на сжатіе необлицованнаго фундамента дока будетъ $\sigma = \frac{2 \times R_s^p}{3 \cdot \xi} = \frac{2 \cdot 127}{3 \cdot 0,92} = 92 \frac{\text{тн.}}{\text{м.}^2}$ или $9,2 \frac{\text{кил.}}{\text{сант.}^2}$.

Изъ построеній, сдѣланныхъ на черт. 15 для облицованнаго дока, видно, что изъ четырехъ кривыхъ давленія, самая невыгодная (нижняя) проходитъ на разстояніи 1,5 м. отъ нижняго ребра. Полное давленіе на среднее сѣченіе $\mathfrak{D}^4 =$

185 тн., такъ что наибольшее напряженіе $\sigma = \frac{2 \cdot 185}{3 \cdot 1,5} = 82,2 \frac{\text{тн.}}{\text{м.}^2}$

или $8,2 \frac{\text{кил.}}{\text{сант.}^2}$. Три остальные кривыя давленія проходятъ въ средней трети сѣченія; напряженія при этомъ получаются меньше найденныхъ выше $8,2 \frac{\text{кил.}}{\text{сант.}^2}$ даже въ томъ случаѣ, если опредѣлить ихъ, принимая во вниманіе то обстоятельство, что облицовка, сдѣланная послѣ, принимаетъ на себя меньшую

долю сжимающаго усилія чѣмъ въ томъ случаѣ, когда она дѣлается одновременно съ кладкой всего массива.

Въ этомъ случаѣ было бы неправильно опредѣлять напряженіе въ кладкѣ фундамента или стѣны по формулѣ

$\sigma = \frac{2N}{3\xi}$ или $\sigma = \frac{N}{s} \left(1 + \frac{6a}{s} \right)$, потому что облицовка дѣлается въ ненапряженномъ состояніи по кладкѣ, которая уже работаетъ подъ вліяніемъ дѣйствующихъ на нее силъ. Облицовка начнетъ принимать на себя сжимающее усиліе только въ томъ случаѣ, если напряженіе въ верхнемъ ребрѣ ранѣе сдѣланной кладки получится болѣе того, которое было во время выполненія облицовки.

Положимъ *), что до производства облицовки, толщина которой равна b , напряженіе во внутреннемъ ребрѣ ранѣе сдѣланной кладки было $p_1 \frac{\text{тн.}}{\text{мет.}^2}$ (черт. 16). Если усиліе V нормальное къ сѣченію соеѣмъ готовой кладки приложено на разстояніи a отъ вышняго ребра облицовки и на разстояніи $a-b$ отъ передняго ребра ранѣе сдѣланнаго массива, то законъ распредѣленія усилія выразится площадью $AHFECA$, заштрихованной вертикальными линіями; центръ тяжести ея совпадаетъ въ направленіе усилія V , а площадь $= V$.

Ширина основанія x этой площади опредѣлится изъ равенства статическихъ моментовъ относительно ребра G .

Площадь $ECGA = p_1 \cdot b$; плечо ея $= \frac{b}{2}$.

Площадь $GFH = V + p_1 \cdot b$; плечо ея $= \frac{x}{3}$; слѣдовательно

$$V \cdot a = (V + p_1 \cdot b) \frac{x}{3} - \frac{p_1 b^2}{2} \text{ отсюда}$$

$$x = \frac{3 \cdot (2 \cdot V \cdot a + p_1 b^2)}{2 (V + p_1 b)}.$$

*) Brennecke. Zeitschrift für Bauwesen. 1892. S. 541.

Обозначимъ напряженіе въ крайнемъ ребрѣ облицовки черезъ p_x

$$\text{Площадь } EFHACE = V$$

$$\text{Площадь } FGH = \frac{(p_x + p_1) x}{2}$$

$$\text{Площадь } EGCA = p_1 \cdot b;$$

$$\frac{(p_x + p_1) x}{2} = V + p_1 \cdot b; \text{ отсюда}$$

$$p_x = \frac{2(V + p_1 \cdot b)}{x} - p_1$$

подставляя вмѣсто x его значеніе, находимъ

$$p_x = \frac{4(V + p_1 b)^2}{3(2V \cdot a + p_1 b^2)} - p_1.$$

Напряженіе въ плоскости A соприкасанія облицовки съ ранѣ сдѣланной кладкой найдется изъ уравненія

$$(p_1 + p_x) \cdot x = p_1 \cdot (x - b); \text{ откуда}$$

$$p_1 = \frac{(p_1 + p_x)(x - b)}{x}$$

подставляя сюда значенія x и p_x , находимъ

$$p_1 = 2(V + p_1 b) \frac{2(V + p_1 b)}{3(2Va + p_1 b^2)} \left[1 - b \frac{2(V + p_1 b)}{3(2Va + p_1 b^2)} \right].$$

На основаніи построенія кривой давленія для случая „I^p“ (черт. 14) находимъ для горизонтальнаго сѣченія, взятаго на отмѣткѣ $(-9,50)$, вертикальное усиліе $N=115$ тн., такъ что здѣсь напряженіе въ кладкѣ необлицованнаго дока по формулѣ

$$\varsigma = \frac{2N}{3\xi} \text{ при } \xi = 1,8 \text{ м. равно}$$

$$\varsigma = \frac{2 \times 115}{3 \times 1,8} = 42,6 \frac{\text{тн.}}{\text{мет.}^2} \text{ или } 4,3 \frac{\text{кил.}}{\text{сант.}^2}.$$

Найдемъ теперь напряженіе въ томъ же сѣченіи совершенно готоваго дока при отмѣткѣ горизонта воды $(+3)$.

Толщина облицовки $b=0,52$ м. Согласно чертежу 15 усилие $V=140,5$ тн. расстояние $a=1,6$ м. По выше приведенной формулѣ

$$x = \frac{3(2 \cdot 140,5 \cdot 1,6 + 42,6 \cdot 0,52^2)}{2(140,5 + 42,6 \cdot 0,52)} = 4,34 \text{ м.}$$

и напряженіе въ переднемъ ребрѣ облицовки

$$p_x = \frac{4(140,5 + 42,6)^2}{3(2 \cdot 140,5 \cdot 1,6 + 42,6 \times 0,52^2)} - 42,6 = 52,35 \frac{\text{тн.}}{\text{м}^2}$$

или $5,2 \frac{\text{кил.}}{\text{сант.}^2}$; а напряженіе въ переднемъ ребрѣ главнаго массива получится

$$p_A = 65,58 \frac{\text{тн.}}{\text{м}^2} \text{ или } 6,6 \frac{\text{кил.}}{\text{сант.}^2}.$$

Въ томъ же сѣченіи слѣдуетъ сдѣлать и повѣрку прочности на скольженіе.

Выше приведенные расчеты относятся къ тому случаю, когда сначала дѣлаются и засыпаются стѣны, а потомъ приступаютъ къ устройству фундамента.

Если же предполагается возводить стѣны на приготовленномъ сначала сплошномъ фундаментѣ, то ходъ расчета въ сущности остается тотъ же самый. Реакція земли при этомъ принимается распределенной равномерно или неравномерно. Приводимъ расчетъ, сдѣланный Brenneske для дока въ Chatham'ѣ (чер. 17).

Здѣсь построено четыре кривыхъ давленія.

Всѣ засыпки за вычетомъ потери вѣса въ водѣ принять равнымъ 1 тн. въ кб. м. Для опредѣленія напора земли на стѣну при высокомъ горизонтѣ воды уголъ естественнаго откоса принять $\varphi=24^\circ$. При низкомъ же горизонтѣ воды тотъ же уголъ для грунта, расположеннаго надъ водой принять равнымъ 33° .

Графическія построенія сдѣланы въ двухъ предположеніяхъ: А полное давленіе воды и земли на дно распределено равномерно и В полное давленіе воды и земли распределено по треугольнику, при чемъ въ серединѣ оно равно нулю. Кривая давленія, проходящая почти въ серединѣ дна, соот-

вѣтствуетъ тому случаю, когда докъ внутри пустъ, вода снаружи достигаетъ самаго высокаго горизонта и давленіе воды на подошву проявляется вполнѣ; реакція же грунта распределена равномерно.

Кривая давленія, расположенная ниже (но не выходящая изъ очертанія дна) соотвѣтствуетъ тому случаю, когда снаружи грунтовая вода стоитъ на самомъ низкомъ горизонтѣ ($-0,90$), прочія же условія остаются тѣ же. Изъ сравненія этихъ двухъ кривыхъ давленія видно, насколько выгодно для фундамента болѣе высокое давленіе на боковыя стѣны.

Кривая давленія, расположенная еще ниже, соотвѣтствуетъ тому случаю, когда докъ наполненъ водой, прочія же условія тѣ же, какъ и въ первомъ случаѣ. Эта кривая ясно показываетъ на сколько опасно можетъ быть заполненіе водой.

Наконецъ четвертая самая верхняя кривая давленія получается въ томъ случаѣ, когда докъ до краевъ заполненъ водой и давленіе грунта на дно распределяется по треугольнику. При этомъ верхнее ребро сжато, а нижнее подвергается растяженію, но послѣднее, какъ уже сказано было выше, не такъ опасно.

Послѣдняя кривая давленія показываетъ какъ полезно для дока неравномѣрное распределеніе реакціи грунта.

Для достиженія этого можно дѣлать свайный растверкъ подъ стѣнами, оставляя грунтъ подъ дномъ неукрѣпленнымъ. Неоднородность основанія вообще опасна; для даннаго же рода сооружений она полезно потому, что здѣсь увеличеніе сопротивленія грунта дѣлается сообразно съ давленіемъ на него.

На черт. 18 сдѣланъ расчетъ фундамента шлюза, основаніе котораго подъ стѣнами усилено равномерно распределенными сваями. При расчетѣ принято: вѣсъ кладки 2,3 тн. въ кв. м.; ниже горизонта воды вѣсъ засыпки считается равнымъ 1 тн. въ кв. м. и уголъ естественнаго откоса 24° . Давленіе воды снизу для грунта не вполнѣ водопроницаемаго принято равнымъ 0,8 полного давленія. Сопротивленіе каждой сваи, найденное изъ опыта, $=12$ тн. При сооруженіи шлюза сначала дѣлается сплошной фундаментъ, а потомъ на немъ возводятся боковыя стѣны.

На чертежѣ 18 построены двѣ кривыя давленія. Сплошная линія соотвѣтствуетъ тому случаю, когда шлюзъ до верху полонъ воды.

Силы дѣйствующія сверху внизъ:

вѣсъ кладки = 188,6 тн.
вѣсъ воды внутри = 80 тн.
вертик. составляющая напора земли . . . = 10,8 тн.

Итого 279,4 тн.

Давленіе воды снизу при ширинѣ основанія 14 м. и глубинѣ заложения 11,5 м. равно $14 \times 11,5 \times 0,8 \times 1 = 128,8$ тн.

Сопротивленіе семи свай, поставленныхъ на разстояніи 1 м. другъ отъ друга, $= 12 \times 7 = 84$ тн.

Слѣдовательно на грунтъ передается давленіе $279,4 - 128,8 - 84 = 66,6$ тн., и высота площади противодѣйствія грунта

выразится ординатой, $ab = gf = \frac{66,6}{14} = 4,76$ тн., отложенной въ масштабъ силъ. Сопротивленіе свай при равномерномъ распредѣленіи ихъ выражается прямоугольникомъ $c f d e$, основаніе

котораго $= 7$ м. а высота $\frac{84}{7} = 12$ тн. Давленіе воды выражается

прямоугольникомъ $a l i g$, высота котораго равна $\frac{128,8}{14} = 9,2$ тн.

Соотвѣтствующій этому случаю многоугольникъ силъ вычерченъ слѣва. Кривая давленія проходитъ очень выгодно и при томъ встрѣчаетъ среднее сѣченіе въ верхней части, тогда какъ при равномерномъ распредѣленіи реакціи основанія она прошла бы по всей вѣроятности ниже середины дна.

Второе изслѣдованіе соотвѣтствуетъ тому случаю, когда шлюзъ осушенъ.

Кривая давленія вычерчена пунктирной линіей по многоугольнику силъ, расположенному справа. Сумма силъ, дѣйствующихъ сверху внизъ уменьшается на 80 тн.; давленіе воды на подошву остается конечно то же самое. Уменьшеніе реакціи основанія прежде всего выражается уменьшеніемъ давленія грунта, а потомъ уже свай. По мѣрѣ удаленія воды изъ шлюза площадь $a b f g$, представляющая реакцію грунта,

постепенно уменьшается по высотѣ. Въ виду того, что площадь эта, какъ найдено выше, выражаетъ давленіе 66,6 тн., а вѣсъ воды въ шлюзѣ=80 тн.; то ордината $ab=gf$ дѣлается равной нулю прежде, чѣмъ вся вода будетъ удалена изъ шлюза. Дальнѣйшее уменьшеніе сопротивленія основанія выражается разгрузеніемъ свай на $80-66,6=13,4$ тн. Такимъ образомъ давленіе на подошву выразится въ данномъ случаѣ прямоугольникомъ $alig$ (давленіе воды) и прямоугольникомъ $c'f'de$ (сопротивленіе свай); высота послѣдняго равна

$$\frac{84-13,4}{7} = 10,09 \frac{\text{тн.}}{\text{м.}^2}.$$

Выше изложенное вполне выясняетъ ходъ расчета фундамента шлюза. Если послѣ построенія кривыхъ давленія окажется, что могутъ появляться значительныя растягивающія усилія, то во избѣжаніе появленія трещинъ полезно ставить поперечныя желѣзныя связи. Напряженія фундамента шлюза въ этомъ случаѣ можно опредѣлить какъ въ желѣзобетонной плитѣ.

Стѣны и основанія деревянныхъ шлюзовъ.

§ 20. Стѣны. Переходя къ разсмотрѣнію деревянныхъ шлюзовъ, мы должны предупредить, что на приводимые ниже приемы расчета отдѣльныхъ частей шлюза слѣдуетъ смотрѣть только какъ на попытки сблизить теорію съ практикой, а на получаемые путемъ подобныхъ расчетовъ результаты, какъ на первое приближеніе, которое должно быть провѣрено сравненіемъ съ существующими сооружениями, служащими вполне исправно и находящимися приблизительно въ такихъ же условіяхъ, какъ и проектируемое.

Въ каждомъ деревянномъ шлюзѣ, подобно тому какъ и въ каменномъ, различаются три части: двѣ шлюзные части или головы—верхняя и нижняя и шлюзная камера.

Стѣны, ограничивающія верхнюю и нижнюю головы носятъ здѣсь спеціальныя названія, установившіяся при устройствѣ Маринской и Тихвинской системъ, а именно стѣны, которыя мы называли верхними входными, вмѣстѣ съ примыкающими къ нимъ обратными стѣнками носятъ названіе верхнихъ крыльевъ, стѣны, ограничивающія шкафы, такъ и называются шкафными; стѣны, которыя мы называли верхними упорными, называются здѣсь флютбетными или сливными; стѣны, которыя мы называли нижними упорными, вмѣстѣ съ обратными стѣнками нижней головы носятъ названіе нижнихъ крыльевъ; стѣны, ограничивающія камеру, такъ и называются камерными, что же касается до нижнихъ входныхъ стѣнъ, то въ деревянныхъ шлюзахъ онѣ представляютъ часть камерныхъ стѣнъ и въ самостоятельную, такъ сказать, единицу не выдѣлены.

Разсмотримъ теперь въ отдѣльности составныя части шлюзовыхъ стѣнъ.

§ 21. Верхнія крылья. Верхнія крылья обыкновенно дѣлаются длиною въ 2 ряжевыхъ ящика, а шириною (по фасаду) въ 6, причемъ въ планѣ ихъ устраиваютъ или прямо какъ продолженіе флютбетныхъ стѣнъ, или же дѣлаютъ углы при входѣ въ шлюзъ скошенными. Нѣкоторые строители пришли къ заключенію, что можно, защитивъ углы шлюзной части отъ ударовъ судами устройствомъ входныхъ палъ, вовсе не дѣлать верхнихъ крыльевъ, причемъ они указывали на существующій на Маринскомъ пути нижній шлюзъ „Россія“, который не имѣетъ верхнихъ крыльевъ, и тѣмъ не менѣе шлюзные части его не носили признаковъ разстройства. Съ упраздненіемъ верхнихъ крыльевъ верхняя голова могла бы начинаться шандорной колодой и шандорными столбами, причемъ должно быть обращено тогда вниманіе на то, чтобы шкафовая часть представляла массу достаточной длины для противодѣйствія фильтраціи, при чемъ можно принять за правило, чтобы эта длина была не менѣе удвоенной разности горизонтовъ верхняго и нижняго бьефовъ. При значительныхъ подпорахъ, напримѣръ, больше 1,5 саж., желательно сохра-

нять верхнія крылья на томъ основаніи, что они, будучи связаны со шкафными стѣнами, дадутъ большую устойчивость противъ давленія воды, но при этомъ слѣдуетъ давать имъ наименьшую длину, допускающуюся условіями ряжевой рубки, т. е. 1,50 саж.

§ 22. Флютбетныя стѣны. Флютбетныя стѣны, главное назначеніе которыхъ служить надежной опорой для верхнихъ воротъ, должны имѣть размѣры, достаточные для устойчивости шлюза. На Маринскомъ пути ихъ принято дѣлать длиною 2,5 саж. въ 3 ряжевыхъ ящика, а на Тихвинскомъ пути въ 2 саж.

§ 23. Стѣнка паденія. При расположеніи верхняго и нижняго королей на разныхъ уровняхъ за флютбетною частью шлюза слѣдуетъ стѣнка паденія, которая служить для удаленія падающей воды отъ подошвы флютбетной части и вмѣстѣ съ тѣмъ увеличиваетъ устойчивость ея, такъ какъ, будучи ограничена наклонною плоскостью, она образуетъ позади флютбетной части треугольный контрфорсъ. Подкосы этой наклонной плоскости упираются нижними концами въ насадки перваго за флютбетомъ поперечнаго ряда свай.

§ 24. Флютбетная часть нижней головы. Въ нижней головѣ флютбетная часть имѣетъ тѣ же размѣры, что и въ верхней головѣ, и оканчивается сливомъ, длина котораго зависитъ отъ длины нижнихъ крыльевъ.

§ 25. Нижнія крылья. Нижнія крылья необходимы, во первыхъ, въ помощь флютбетнымъ стѣнамъ для упора воротъ и, во вторыхъ, для того, чтобы по возможности уменьшить косою ударъ воды на берега, такъ какъ вода, выходя изъ щитовыхъ отверстій, не направляется по оси шлюза, а ударяется какъ разъ въ стѣнки или берега. Крылья эти съ цѣлью возможнаго уменьшенія количества ряжевыхъ вѣнцовъ, подвергающихся гніенію можно нарубать только до высоты горизонта нижняго бѣефа, сопрягая получаемыя на крыльяхъ площадки съ площадками камерныхъ стѣнъ наклонными плос-

костями, а въ лицевыхъ ящикахъ лѣстницами, располагаемыми на выступахъ продольныхъ ряжей, концы которыхъ обрублены по линіи, наклоненной подъ угломъ въ 45° , какъ это видно на чертежѣ 19.

Въ планѣ крылья могутъ быть или скошены, или составлять какъ бы продолженіе флютбетныхъ стѣнъ. Длина крыльевъ во второмъ случаѣ дѣлается равной 2 саж. (на Маринскомъ пути). Въ первомъ случаѣ длина эта для надлежащей устойчивости нижней головы дѣлается больше на одинъ или два ящика. Скапыванье нижнихъ крыльевъ имѣетъ за собой довольно серьезныя основанія; при помощи его достигается уменьшеніе вреднаго вліянія выходящей изъ шлюза струи воды на дно, лежащее непосредственно ниже шлюза, во первыхъ потому, что послѣдовательнымъ уширеніемъ площади поперечнаго сѣченія сливной части нижней головы послѣдовательно уменьшается и скорость струи, и во вторыхъ потому, что одна и та же струя встрѣчаетъ, сходя со сливныхъ половъ шлюза, грунтъ дна по бѣльшей ширинѣ; далѣе, при параллельныхъ стѣнахъ крыльевъ между ними образуется подпоръ, при скошенныхъ же—онъ почти исчезаетъ, благодаря чему увеличивается скорость вытекания воды черезъ щитовыя окна въ полотнахъ, т. е. уменьшается время опоражниванія камеры, а это обстоятельство вліяетъ до извѣстной степени на пропускную способность шлюза.

§ 26. Камерныя стѣны. На Маринскомъ водномъ пути первоначально только шлюзные части имѣли ряжевыя стѣны, камера же отдѣлялась на одну треть отъ дна досчатою заборкою на сваяхъ, а выше ограничивалась естественнымъ откосомъ грунта; только въ послѣдствіи стали и камерныя стѣны дѣлать ряжевymi.

На Тихвинскомъ пути камерныя стѣны, а даже иногда и стѣны шлюзныхъ частей, весьма продолжительное время строились по такъ называемой анкерной системѣ. Подобныя стѣны состояли изъ двухъ ряжевыхъ ящиковъ, скрѣпленныхъ особаго устройства анкерами. Система эта оказалась однако неудобной, и на основаніи опытовъ прошлаго пришлось прійти

къ заключенію, что самыми раціональными являются ряжевыя стѣны.

Лицевыя стѣны рубятся надъ шапкой, перекрывающей шпунтовую линію подъ стѣнами, по насадкамъ продольныхъ шпунтовыхъ линій, а поперечныя по поперечнымъ насадкамъ, расположеннымъ въ основаніи шлюза.

Что касается до рубки ряжевыхъ стѣнъ, то она дѣлается различно въ лицевыхъ и внутреннихъ стѣнахъ. Лицевыя стѣны прежде рубились изъ бревенъ, припазованныхъ сѣдломъ, но такое устройство нельзя признать раціональнымъ: круглый пазъ имѣетъ значительное неудобство въ томъ отношеніи, что выкружки могутъ быть сдѣланы слишкомъ углубленными, и тогда ряжи будутъ соприкасаться только краями, что поведетъ къ образованію пути для фильтраціи и впоследствии къ сильной осадкѣ нарубленныхъ стѣнъ, такъ какъ кромки выкружекъ легко могутъ смяться (чер. 20). Гораздо лучше лицевыя стѣны рубить изъ обтесанныхъ бревенъ съ припазовкою ихъ въ шпунтъ, или въ четверть или простою притескою со вставными шипами (чер. 21, 22 и 23). Всѣ стѣнки внутреннія, кромѣ указанныхъ ниже простѣнковъ, рубятся вообще безъ припазовки бревенъ. Рубка ихъ во внутреннихъ пересѣченіяхъ производится обыкновенно вырубкой, а въ пересѣченіяхъ съ наружными стѣнами въ лапу (чер. 24 и 25).

Шпунтовые простѣнки располагаются противъ колоды короля какъ верхняго, такъ и нижняго и кромѣ того въ шлюзахъ, имѣющихъ верхнія крылья—еще противъ шандорной колоды; въ шлюзахъ безъ верхнихъ крыльевъ этимъ простѣнкомъ служитъ поперечная лицевая стѣна, которая въ этомъ случаѣ должна быть срублена или въ шпунтъ или въ приплотку.

Въ шлюзахъ съ верхними крыльями шпунтовый простѣнокъ, идущій по линіи шандоровъ, представляетъ собою поперечную стѣну, срубленную обыкновенно изъ 6 верниковаго лѣса въ приплотку.

Ряжевыя стѣны въ шлюзныхъ частяхъ дѣлаются всегда прямоугольнаго сѣченія, при подпорахъ около 1,5 саж. обыкновенно въ 3 ряжевыхъ ящика. Передняя лицевая стѣна

крыла должна заходить въ естественный грунтъ не менѣе какъ на 0,5 саж., а потому длина ея будетъ зависѣть отъ ширины русла на высотѣ подпорнаго горизонта. Выше мы указывали, что обыкновенно эта длина бываетъ равна 6 ряжевымъ ящикамъ. Ширина этой стѣны дѣлается въ 2 полныхъ ящика. Въ нѣкоторыхъ шлюзахъ верхнія шлюзные части дѣлаются выше стѣнъ камеры и нижней головы. Подобное устройство слѣдуетъ допускать только тамъ, гдѣ весенній горизонтъ выше подпорнаго, для того, чтобы весенняя вода не заливала шлюза.

Въ существующихъ шлюзахъ камерныя ряжевыя стѣны дѣлались шириной въ 2 или 3 ящика съ уступами. Въ нѣкоторыхъ шлюзахъ стѣны, шириною у основанія въ 3 ящика принято было дѣлать съ 2-мя уступами, каждый примѣрно на $\frac{1}{3}$ высоты стѣны, такъ что только лицевые ящики имѣли полную высоту. Такъ какъ устойчивость стѣнъ зависитъ отъ многихъ обстоятельствъ, а главнымъ образомъ отъ качества и напластованія грунта, то устройство подобныхъ уступовъ не вездѣ можетъ быть допущено. Нагляднымъ тому примѣромъ могутъ служить Кіевскій и Полоцкій шлюзы (чер. 26), въ которыхъ верхняя часть стѣны, шириною только въ одинъ ящикъ, отъ давленія глинистаго грунта выпучилась серединою внутрь камеры на 9", сохранивъ въ шлюзныхъ частяхъ прежнее вертикальное положеніе. Причина такого выпучиванія должна быть отнесена единственно къ недостаточной устойчивости одного ящика при глинистомъ грунтѣ, такъ какъ въ шести другихъ шлюзахъ Тихвинскаго пути такія-же стѣны оказались вполне устойчивыми.

Ввиду разнообразнаго дѣйствія грунтовъ на стѣны невозможно задаться какой-либо опредѣленной нормой для поперечнаго профиля стѣнъ, а слѣдуетъ при проектированіи ихъ сообразоваться со всеми мѣстными обстоятельствами.

Необходимо только соблюдать условія: 1-е чтобы ширина камерныхъ стѣнъ у основанія была вообще не меньше ихъ высоты и при томъ не менѣе 2-хъ ящичковъ. 2-е чтобы при ненадежныхъ грунтахъ ширина стѣны по всей высотѣ была

не менѣе какъ въ 2 полныхъ ящика, а еслибы по расчету получилась ширина стѣны у основанія въ 3 ящика, то что-бы уступъ отъ 3-хъ къ 2-мъ былъ дѣлаемъ не ниже, какъ на высотѣ $\frac{2}{3}$ отъ основанія.

Разсматривая камерныя стѣны существующихъ шлюзовъ, мы видимъ, что нѣкоторыя изъ нихъ въ предѣлахъ перемѣннаго горизонта воды стоятъ не менѣе 60 лѣтъ. Стѣны эти обращаютъ на себя вниманіе своей прочностью. Тѣ изъ нихъ, которыя загружены песчано-иловатымъ грунтомъ, остались въ вертикальномъ положеніи, и лапы въ нихъ уцѣлѣли; стѣны, загруженные чурой съ примѣсью глины, голышей и камня, сохранили тоже свое вертикальное положеніе, не смотря на то, что лапы вслѣдствіе движенія по нимъ при наполненіи и опоражниваніи камеры фильтраціонной воды съ песчинками совершенно пробѣдены; наконецъ стѣны, загруженные жирною глиною, обнаружили сползаніе съ лапъ черезъ нѣсколько лѣтъ постройки въ такой значительный мѣрѣ, что пропускъ судовъ черезъ нѣкоторые изъ этихъ шлюзовъ дѣлался невозможнымъ.

Разстройство камерныхъ стѣнъ можно сгруппировать въ двѣ категоріи. Къ первой можно отнести тотъ случай, когда всѣ стѣны подаются внутрь камеры, какъ-бы вращаясь около нижняго вѣнца, причемъ величина отклоненія, наибольшая по срединѣ камеры, уменьшается по мѣрѣ приближенія къ шлюзнымъ частямъ, такъ что въ планѣ лицевая стѣна камеры представляетъ дугу съ наибольшимъ подъемомъ по срединѣ; другими словами можно выразить такъ, что стѣны вмѣстѣ съ загрузкой и прилежащей частью грунта всею массою двинулись въ камеру. Подобное явленіе, встрѣчающееся въ глиняныхъ и въ ползучихъ вообще грунтахъ указываетъ на недостаточную толщину камерныхъ стѣнъ для противодѣйствія такому грунту. Чтобы предупредить подобное движеніе, нужно придавать стѣнамъ большую устойчивость или увеличеніемъ ширины ихъ, или устройствомъ анкеровъ. Въ нѣкоторыхъ шлюзахъ на Маріинской системѣ для той-же цѣли дѣлали уширеніе стѣны въ срединѣ камеры, и уширяющіе стѣну выступы, играющіе роль контрфорсовъ, получили названіе „ряжевыхъ якорей“.

Ко второй категоріи можно отнести тотъ случай, когда поперечныя и внутреннія стѣны остаются на мѣстѣ, а выпучиваются только однѣ лицевыя стѣны. Явленіе это обнаруживается обыкновенно тамъ, гдѣ для загрузки лицевыхъ ящиковъ употребленъ глинистый грунтъ; глинистая загрузка при замерзаніи и оттаиваніи увеличивается въ объемѣ и производитъ выпучиваніе лицевыхъ стѣнъ.

Въ предупрежденіе этого явленія можно предложить загрузку лицевыхъ ящиковъ чуроватымъ или песчанымъ матеріаломъ, если же почему либо приходится загружать глинистымъ грунтомъ, то къ нему слѣдуетъ прибавить около 30% древесныхъ опилокъ, причемъ конечно смѣсь должна быть хорошо перемѣшана: опилки, какъ сжимаемый матеріалъ, будутъ умѣрять дѣйствіе распора глины и, въ случаѣ открывшейся фильтраціи, будутъ заполнять щели. Задніе ящики стѣнъ для непроницаемости слѣдуетъ всегда загружать глиною.

Въ 1867 г. въ Журналѣ Министерства П. С. была помѣщена статья Инженера Августовскаго, въ которой указанъ способъ или вѣрнѣе попытка путемъ теоретическихъ разсужденій и данныхъ опыта опредѣлить теоретическій профиль ряжевой камерной стѣны. Мы не будемъ приводить здѣсь всѣхъ разсужденій, которыя составляютъ самую основу способа, такъ какъ это заняло-бы слишкомъ много мѣста въ настоящемъ довольно краткомъ трудѣ, а укажемъ только конечные выводы, или вѣрнѣе графическій способъ полученія теоретическаго профиля стѣны. Положимъ, что высота стѣны $h = AB$, горизонтъ зимняго стоянія воды ниже на величину β верха стѣны, такъ что высота его надъ поломъ шляза равна $h - \beta$, тогда отложимъ отъ точки B по горизонтальной линіи величину равную $1,4h$, получимъ точку C . Соединимъ точку A и C прямой AC . Отъ точки A по горизонтальной линіи отложимъ величину AF равную $0,89\beta$, а изъ точки D проведемъ линію параллельную BC до встрѣчи съ прямой AC , получимъ точку E . Черезъ точки E и F проведемъ прямую до пересѣченія съ прямой AC въ точкѣ H . Четырехугольникъ $AENB$ и представитъ теоретическій профиль ряжевой стѣны. Отъ этого теоретическаго профиля, задавшись шириной ряже-

вого ящика, напимѣръ въ 6 футовъ, легко перейти и къ конструктивной формѣ стѣны съ уступами (черт. 27). Изъ всего вышеприведеннаго мы уже видѣли, насколько могутъ вліять мѣстныя обстоятельства на выборъ поперечнаго профиля стѣны, а потому на способъ Инженера Августовскаго можно смотрѣть только какъ на приблизительную повѣрку достаточности выбраннаго профиля.

На фототипіи № 1 видно производство работъ по рубкѣ ряжевыхъ стѣнъ на шлюзѣ Св. Омы.

§ 27. Основанія деревянныхъ шлюзовъ. Устройство основанія шлюза находится конечно въ зависимости какъ отъ характера грунта, такъ и отъ высоты мѣста, на которомъ предполагается возвести шлюзъ. Такимъ образомъ основанія шлюзовъ встрѣчаются свайныя, ряжевыя и смѣшанныя.

Въ грунтахъ, допускающихъ забивку свай, основанія должны быть устраиваемы на сваяхъ двоякаго рода: круглыхъ—для связи сооруженія съ грунтомъ и шпунтовыхъ—для сопротивленія фильтраціи и защиты разныхъ частей сооруженія отъ подмыва.

Между прочимъ шпунтовые линіи должны быть забиты и кругомъ лицевыхъ стѣнъ и крыльевъ, но такъ какъ въ подобномъ случаѣ онѣ имѣютъ одно назначеніе предохранять стѣны отъ подмыва, то въ видахъ экономіи ихъ можно дѣлать досчатыми. Для противодѣйствія фильтраціи подъ основаніе служатъ главнымъ образомъ королевскія шпунтовые линіи, располагаемыя подъ колодами верхняго и нижняго королей и идущія непрерывно во всю ширину шлюза и стѣнъ; линіи эти всегда брусчатые.

Для огражденія спереди верхней шкафной части забивается подъ шандорною колодой досчатая шпунтовая линія, которая въ шлюзахъ безъ верхнихъ крыльевъ будетъ какъ бы продолженіемъ линій, идущихъ подъ поперечными лицевыми стѣнами, въ шлюзахъ-же съ верхними крыльями она примыкаетъ къ линіямъ, забитымъ подъ продольными стѣнами. Эта линія нужна уже потому, что здѣсь можетъ быть

разность горизонтовъ въ томъ случаѣ, когда для какихъ-либо исправленій закладываются шандоры.

При сопряженіи флютбета съ контрфорсомъ въ верхней шлюзовой части и со сливомъ въ нижней—забиваются брусчатые шпунтовые линіи. Въ большинствѣ существующихъ шлюзовъ эти линіи сдѣланы сквозными, т. е. продолжаются и подъ стѣны. Назначеніе этихъ линій—изолировать верхнюю и нижнюю головы отъ камеры.

Круглыя сваи забиваются подъ стѣнами и насадками въ пролетѣ шлюза рядами, разстояніе между которыми находится въ зависимости отъ расположенія ряжевыхъ ящиковъ. Разстояніе между сваями въ поперечномъ ряду, или, что все равно, разстоянія между продольными рядами будутъ зависеть: подъ стѣнами—отъ ширины ряжевыхъ ящиковъ, а въ пролетѣ шлюза—отъ количества продольныхъ рядовъ, при чемъ обыкновенно крайніе ряды идутъ подъ рамныя насадки продольныхъ шпунтовыхъ линій.

Разстоянія между продольными рядами дѣлаютъ меньше, чѣмъ между поперечными для того, чтобы, располагая поперечныя насадки на большее количество свай, увеличить тѣмъ сопротивленіе поднятію ихъ.

Разсмотримъ теперь устройство шлюзныхъ частей.

Въ шкафной части подъ усовики кладется плотъ изъ брусевъ, соединенныхъ между собою четвертями. Такъ какъ плотъ занимаетъ не всю шкафную часть, то насадки свай въ этой части располагаются не на одной высотѣ, а именно: насадки свай, приходящихся подъ плотомъ, опускаются ниже прочихъ на толщину пласта, обыкновенно на 0,10 саж. Плотъ собирается отъ краевъ къ срединѣ такъ, что средній брусъ служить расколотою (черт. 28).

Брусъ пласта вытесываются изъ 7-ми вершковаго лѣса, при чемъ послѣ укладки на мѣсто плотъ просмаливается и прикрывается войлокомъ.

Поверхъ пласта и насадокъ въ шкафной и флютбетной частяхъ кладется полъ, примыкающій концами съ одной стороны къ шандорной и королевой линіямъ, а съ другой—къ ко-

ролевой и контрфорсной, по бокамъ-же онъ примыкаетъ къ шапкамъ продольныхъ линій подъ стѣнами.

Полъ этотъ состоитъ изъ двухъ рядовъ 2-хъ дюймовыхъ неструганныхъ досокъ, настланныхъ въ перекрышку швовъ; оба ряда проконопачиваются, просмаливаются, и между ними кладется войлокъ. Концы обоихъ рядовъ этого пола, примыкающіе къ шпунтовымъ линіямъ, прижимаются соответственными колодами (шандорною, контрфорсною и колодой короля), по бокамъ-же верхній рядъ запускается въ четверти, вынутыя въ шапкахъ продольныхъ линій подъ стѣнами (черт. 29).

На эти полы кладутся: шандорная колода, колода короля, усовики, пень съ подпенкомъ, комплаты и контрфорсная колода.

Шандорная колода кладется въ видѣ шапки на шандорную шпунтовую линію и прибивается къ насадкамъ ершенными болтами. Въ существующихъ сооруженіяхъ эта колода вязалась изъ 2-хъ или 4-хъ брусевъ, соединенныхъ между собою шпунтомъ и вставными шипами и скрѣбленыхъ черезъ одну сажень винтовыми болтами по двумъ направленіямъ въ шахматномъ порядкѣ. Какъ показалъ опытъ, шандорную колоду во всѣхъ случаяхъ совершенно достаточно дѣлать изъ двухъ только брусевъ, расположенныхъ въ горизонтальной плоскости, при чемъ со стороны шкафной части къ ней слѣдуетъ прибавить вспомогательные брусъ, служащіе для принятія верхнихъ половъ. Для шандорной колоды на Маринскомъ пути употребляется 9-ти вершковый лѣсъ, а для вспомогательнаго бруса, постель котораго должна быть шириною 4", берется 5-ти вершковый лѣсъ.

Колода короля вяжется изъ 4-хъ брусевъ, соединенныхъ между собою шпунтомъ и вставными шипами черезъ 1 саж. съ прокладкою войлока; брусъ стягиваются по двумъ направленіямъ дюймовыми винтовыми болтами, расположенными въ шахматномъ порядкѣ. Колода эта надѣвается на королевую линію въ видѣ шапки съ прокладкою войлока и прибивается къ насадкамъ ершенными болтами длиною 3 фут. и толщиною $1\frac{1}{4}$ — $1\frac{1}{2}$ ", располагаемыми въ промежуткахъ между винто-

выми болтами. Для колоды короля на Марининской системѣ употребляется 10 вершковый лѣсъ.

Усовики состоятъ изъ двухъ брусевъ, расположенныхъ одинъ надъ другимъ; нижніе брусья запускаются шипами въ пень, а верхніе, образующіе усь, перекрываютъ пень и принимаютъ шипы подпенка; вышніе концы усовика запускаются косыми шипами въ колоду короля.

На фототипіяхъ № 2 и № 3 видны детали короля и производство работъ по укладкѣ его на шлюзѣ Св. Николая.

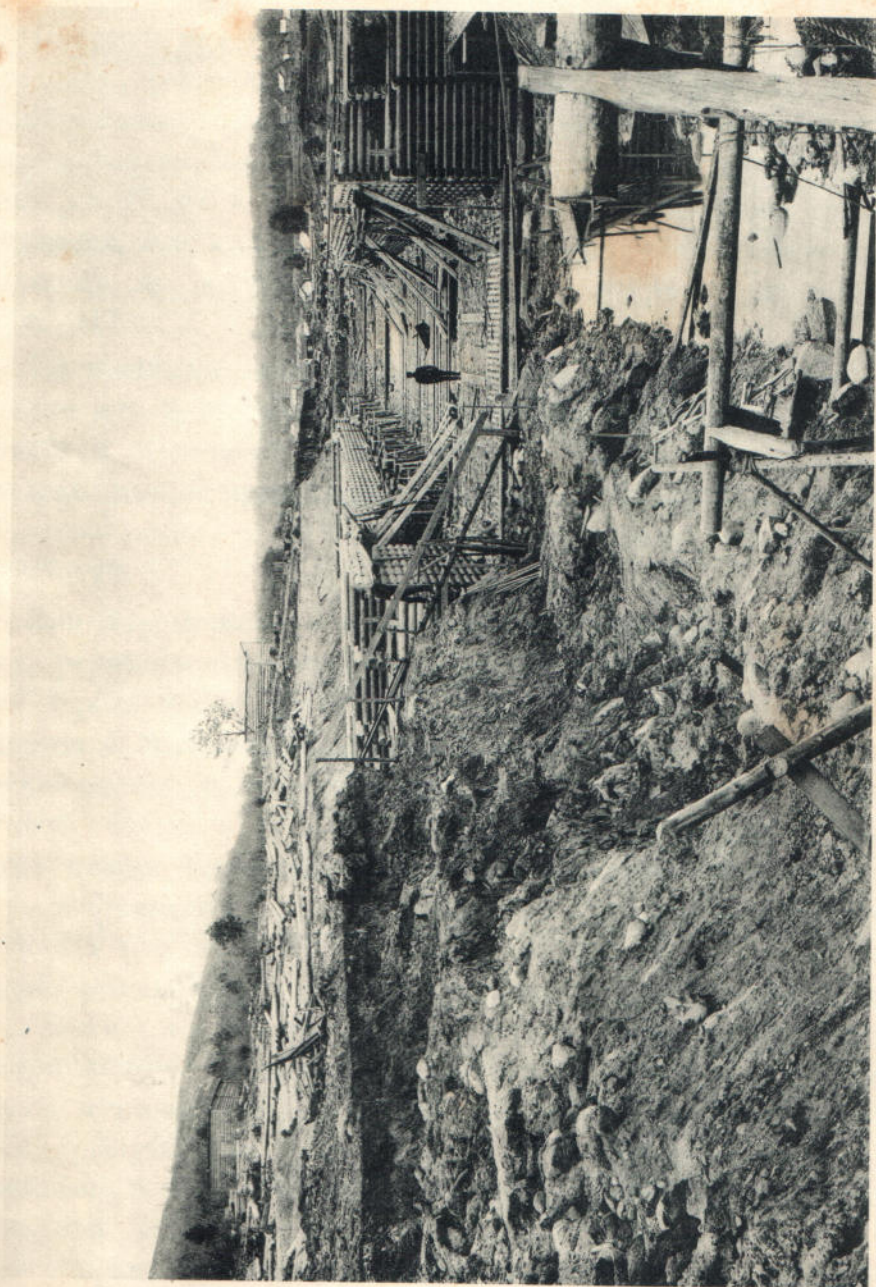
При значительной ширинѣ отверстія шлюза для передачи давленія отъ усовика на колоду короля располагаются еще по три теленка съ каждой стороны.

Для принятія верхнихъ половъ со стороны шкафной части къ усовикамъ прибавляются вспомогательные брусья, при чемъ нижній рядъ пола запускается въ четверть, вынутую въ этомъ брусѣ, а верхній рядъ прикрѣпляется къ постели бруса. Со стороны-же, обращенной къ колодѣ короля, къ усовикамъ прикрѣпляются брусья, называемые заусовичниками; цѣль ихъ, во первыхъ, принять верхніе полы въ треугольномъ пространствѣ, а, во вторыхъ, закрыть шовъ между верхнимъ и нижнимъ брусьями усовика; съ этою-же цѣлью войлокъ, на которомъ кладется усовикъ, завертываютъ по вертикальной грани усовика и тогда только прислоняютъ къ ней заусовичникъ.

Наружныя грани усовиковъ полезно срѣзывать подъ уклономъ въ $1\frac{1}{2}$; съ тѣмъ, чтобы давленіемъ отъ нижняго рамнаго бруса усовики не приподнимались, а прижимались къ полу; само собой разумѣется, что тогда и нижній рамный брусъ слѣдуетъ срѣзать подъ такимъ-же уклономъ. Ввиду того, что кромки усовика скоро изнашиваются и сбиваются, было-бы полезно обшивать наружныя грани усовиковъ 3" дубовыми досками, прикрѣпляемыми къ усовикамъ гольцирубам (черт. 30). Стрѣла уса обыкновенно дѣлается въ $1\frac{1}{5}$.

Для усовиковъ на Марининскомъ пути берется 10 вершковый лѣсъ, заусовичники-же дѣлаются изъ 7 вершковаго лѣса.

Для связи колоды короля съ усовиками и шандорною колодой кладется по оси шлюза двойной брусъ, называемый



Рубка ряжевыхъ стѣнъ на шлюзѣ Св. Ѳомы.

пнемъ. Одинъ конецъ пня запускается шипами въ колоду короля, а другой—прижимается шандорной колодой съ врубкой въ $\frac{2}{3}$ толщины пня.

Поверхъ пня между усовиками и колодой короля кладется подпенокъ, состоящій точно также изъ 2-хъ брусевъ и служащій опорой для верхнихъ брусевъ усовика. Съ пнемъ онъ связывается на Маріинскомъ пути четырьмя болтами діаметромъ въ 1", въ колоду короля запускается шипами, съ усовиками-же его слѣдуетъ соединять такъ, чтобы онъ былъ напущенъ на усовикъ врубкою въ $\frac{1}{3}$ толщины усовика (черт. 31).

На нижнихъ полахъ располагаются еще комплаты, состоящіе изъ 2-хъ брусевъ (въ горизонтальномъ направленіи). Комплаты вгоняются въ шкафы между шандорною и королевой колодами и притесываются частью къ шпнкѣ продольной шпунтовой линіи и частью къ первому вѣнцу; кладутся они на войлокѣ.

Все брусья короля прибиваются на мѣста ершенными болтами, размѣщаемыми въ промежуткахъ между винтовыми болтами черезъ 1 саж. (за исключеніемъ подпенка, который прибивается 4 болтами), при чемъ для брусевъ, состоящихъ въ вертикальномъ направленіи изъ 2-хъ, употребляются трехъ футовые болты, а для остальныхъ двухъ футовые. Промежутки между брусьями короля покрываются верхнимъ поломъ, состоящимъ изъ 2-хъ рядовъ $2\frac{1}{2}$ " досокъ. Впереди усовиковъ онъ дѣлается на высотѣ верхней грани пня и шандорной колоды (если она состоитъ изъ двухъ только брусевъ). Концы досокъ этого пола, какъ упомянуто было выше, прикрѣпляются къ вспомогательнымъ брусьямъ у шандорной колоды и усовиковъ; по бокамъ-же онъ запускается въ четверти, вынутыя въ комплатахъ (черт. 29) и въ пнѣ. За усовиками, т. е. въ треугольномъ пространствѣ, полъ дѣлается на высотѣ усовиковъ и колоды короля и прикрѣпляется съ одной стороны къ заусовичникамъ и усовику, а съ другой—къ вспомогательнымъ при колодѣ короля брусьямъ и къ самой колодѣ (черт. 32). Верхній полъ, какъ и нижній, на-

стиляется въ перекрышку швовъ, при чемъ оба ряда его проконопачиваются и заливаются варомъ.

Въ флютбетной части на нижнемъ полу кладется растворъ изъ обыкновенной ряжевой нарубки, ряжи которой примыкаютъ однимъ концомъ къ колодѣ короля, а другимъ къ контфорской колодѣ; а такъ какъ послѣдняя дѣлается по высотѣ въ одинъ брусъ, то верхняя грань ряжей получаетъ уклонъ по длинѣ на высоту одного бруса. Поверхъ этого растворка настиляется такой-же полъ, какъ и въ шкафной части. Въ существующихъ шлюзахъ пространство между верхними и нижними полами загружалось: въ усовичной части короля, т. е. между колодой короля и усовиками, бетономъ, а въ шкафной и водобойной частяхъ—чурою съ глиной.

Разсматривая цѣль, для достиженія которой употребляется загрузка въ каждой отдѣльной части, надо прийти къ заключенію, что шкафную часть слѣдовало-бы загружать чурою съ глиной, усовичную—бетономъ, а флютбетную, назначеніе которой представлять опору для колоды короля, камнемъ съ расщебенкою. Самый контфорсъ слѣдуетъ дѣлать изъ каменной кладки на цементномъ растворѣ, закладывая основаніе его на 0,30 саж. ниже дна камеры (черт. 32).

Въ сливной части нижнихъ королей на поперечныя насадки настиляется одиночный полъ изъ пластинъ, обращенныхъ горбами кверху. Полъ прибивается къ насадкамъ ершенными болтами, и пространство подъ нимъ загружается камнемъ.

Такъ какъ бой воды, выходящей изъ щитовыхъ отверстій, дѣйствуя на дно канала ниже шлюза, размываетъ какъ самое дно, такъ и откосы канала, то признается необходимымъ устраивать въ концѣ нижнихъ крыльевъ рисберму, состоящую изъ 2-хъ ряднаго фашиннаго тюфяка съ соотвѣтственною загрузкою камнемъ, положеннымъ въ плетневые клѣтки. Тюфякъ этотъ, примыкая къ откосамъ, долженъ защищать дно и подошву откосовъ отъ подмыва, самые-же откосы должны быть обдѣланы до высоты судоходнаго горизонта однокомельными фашинами, обращенными комлями къ водѣ, а выше судоходнаго горизонта—обдернованы.

Длина туюяка зависитъ отъ степени размываемости грунта, а также отъ силы боя воды, т. е. отъ высоты напора и размѣровъ щитовыхъ отверстій. Сообразно съ вышеприведенными обстоятельствами туюякъ дѣлается длиною отъ 3-хъ до 13 саж.

Впереди верхней шкафной части передъ шандорной колодой, а, гдѣ есть крылья, то передъ крыльями нужно устраивать загрузку изъ плотно утрамбованной глины, вымощенной камнемъ, причемъ вымостка должна быть продолжена и по откосамъ до высоты судоходнаго горрзонта. Одежда эта дѣлается на длинѣ отъ 2-хъ до 5 саж. и имѣетъ цѣлью предохранить одѣваемые части отъ размыва теченіемъ воды, образующимся при открытіи верхнихъ щитовыхъ отверстій.

§ 28. Устройство флютбета камеры. Что касается до устройства флютбета камеры, то оно въ общихъ чертахъ сводится къ слѣдующему. По насадкамъ круглыхъ свай, забитыхъ въ камерѣ, настиляется полъ изъ пластинъ, обращенныхъ горбами кверху; полъ этотъ примыкаетъ къ шпунтовымъ линіямъ и прикрѣпляется посредствомъ поперечныхъ прижимовъ, прибываемыхъ къ насадкамъ ершенными болтами. Прижимы въ свою очередь прижимаются прибойными брусками, расположенными вдоль стѣнъ (черт. 33).

На фототипіи № 4 видно производство работъ по укладкѣ половъ.

Такъ какъ отъ воды, падающей съ контрфорса, дно камеры можетъ быть размыто, то на длинѣ 3-хъ сажень за контрфорсомъ вынимается естественный грунтъ подъ полами на глубину около 0,17 саж., и выемка эта заполняется болѣе прочною загрузкою, состоящею изъ слоя щебня толщиною въ 0,10 саж. и слоя камня—въ 0,07 саж.

Говоря объ устройствѣ флютбета камеры, нельзя не остановиться на одномъ весьма серьезномъ вопросѣ, а именно на способѣ прикрѣпленія насадки къ сваѣ. Существующіе способы сводятся къ тремъ типамъ: расклинкѣ, скобамъ и хомутамъ. Разсмотримъ каждый изъ нихъ въ отдѣльности.

Начнемъ съ расклинки. Обозначимъ черезъ *P* усиліе, съ

которымъ насадка высотой l стремится сорваться съ шипа сваи, расклепаннаго такъ, что боковыя грани его плотно прилегаютъ къ гранямъ гнѣзда (черт. 34). Можно представить себѣ насадку неподвижною, а къ сваѣ приложенную силу P . Тогда клинообразный шипъ произведетъ на грани гнѣзда нормальныя давленія, которыя должны уравниваться съ уси-
ліемъ P , если соединеніе прочно; другими словами равнодѣйствующая силъ N и N' должна быть равна силѣ P . Изъ треугольника abc имѣемъ:

$$ab = \frac{1}{2} P = ac \sin \frac{1}{2} \alpha = N \sin \frac{1}{2} \alpha,$$

откуда

$$N = N' = \frac{P}{2 \sin \frac{1}{2} \alpha}.$$

Изъ треугольника nmo имѣемъ

$$nm = \frac{1}{2} (d' - d) = no \operatorname{tg} nom = l \operatorname{tg} \frac{1}{2} \alpha,$$

откуда

$$\operatorname{tg} \frac{1}{2} \alpha = \frac{d' - d}{2l}$$

и

$$\sin \frac{1}{2} \alpha = \frac{d' - d}{\sqrt{4l^2 + (d' - d)^2}}.$$

Такимъ образомъ

$$N = \frac{P \sqrt{4l^2 + (d' - d)^2}}{2(d' - d)}.$$

Изъ этой формулы видно, что N уменьшается съ увеличеніемъ $(d' - d)$, такъ какъ знаменатель увеличивается при этомъ быстрѣе числителя; но сопротивленіе смятію боковыхъ граней шипа при данныхъ размѣрахъ есть величина постоянная, а потому выгодно увеличивать $(d' - d)$ или обухъ клина, дѣлать его тупѣе, такъ какъ тогда при той же силѣ сопротивленія N имѣется возможность побѣдить боольшую дѣйствующую силу P , чѣмъ при клинѣ болѣе остромъ. Это увеличеніе угла α имѣетъ конечно свои предѣлы, обусловливаемые

тъмъ, что здѣсь шипъ сваи, первоначально прямой, получаетъ видъ лапы вслѣдствіе забиванія клиньевъ, отчего часть волоконъ дерева отклоняется отъ первоначальнаго своего состоянія, и это отклоненіе не должно превосходить предѣла сопротивленія дерева изгибу или перелому въ плоскости основанія шипа, или расслоенію волоконъ въ части, отдѣляемой клиномъ; сверхъ того забиваемый клинъ не долженъ выжиматься обратно: для этого необходимо соблюсти условіе, чтобы

$$\operatorname{tg} \alpha \leq \frac{2f}{1+f^2},$$

гдѣ f —коэффициентъ тренія, величина котораго можетъ колебаться отъ 0,25 до 0,45, а потому и для α найдемъ предѣлы отъ 17° до 37° ; при длинѣ клина въ 8" (при 7 вершковой насадкѣ) и $\alpha=17^\circ$, это условіе даетъ для величины $(d'-d)$ численное значеніе въ $2^3/8''$; здѣсь 17° есть сумма угловъ обоихъ клиньевъ, слѣдовательно обухъ каждаго изъ нихъ будетъ $\frac{2^3/8''}{2}$ или $1^1/4''$ съ запасомъ.

При 7-ми вершковой насадкѣ длину шипа можно сдѣлать въ $8^1/2''$, ширину въ $3^1/2''$ и $(d'-d)=2^1/2''$; принимая эти размѣры, найдемъ его возможное сопротивленіе. Предѣлъ упругости дерева при смятіи перпендикулярно волокнамъ примемъ равнымъ половинѣ временнаго сопротивленія, которое для сосны можемъ приблизительно принять въ $88 \frac{\text{пуд.}}{\text{дм}^2}$; тогда сопротивленіе шипа смятію по одной боковой плоскости, на которое еще можно рассчитывать, или нормальная наибольшая сила N будетъ

$$8,5 \times 3,5 \times 44 = 1309 \text{ пуд.}$$

Сила P , уравновѣшиваемая этимъ сопротивленіемъ, найдется изъ формулы:

$$N = P \sqrt{\frac{4l^2 + (d' - d)^2}{2(d' - d)}} = P \cdot 3,43 = 1309 \text{ пуд.,}$$

откуда

$$P = \frac{1309}{3,43} = 381 \text{ пуд.}$$

Принимая, что наибольшее вырывающее свою усилие равно $593 H$, гдѣ H высота напора снизу, и приравнивая это усилие сопротивленію шипа, т. е. 381 пуд., найдемъ предѣльный напоръ для этого способа укрѣпленія насадокъ на сваяхъ H равнымъ приблизительно 0,64 саж.

При бѣльшихъ напорахъ весь избытокъ силы P надъ 381 пуд. долженъ быть уничтоженъ сопротивленіемъ желѣзныхъ связей, скрѣпляющихъ насадку со сваей, а именно сопротивленіемъ скобъ или хомутовъ.

Скоба (черт. 35) можетъ разрушиться двумя способами: разрывомъ гдѣ нибудь по длинѣ въ сѣченіи b , или разогнуться, переламываясь у загиба; слабѣйшее изъ этихъ сопротивленій будетъ въ сѣченіи a ; часть ac можно разсматривать, какъ брусъ, задѣланный концомъ въ стѣну у сѣченія a . Усилія, дѣйствующія на ac , будутъ равномерно распределены по всей длинѣ, и наибольшее напряженіе, которое можно допустить здѣсь, не должно превосходить предѣла упругости при смятіи дерева перпендикулярно къ волокнамъ его; такъ какъ сопротивляемость дерева въ этомъ направленіи вообще не значительна, то выгоднѣе увеличивать ширину скобы; но въ виду того, что при одинаковомъ количествѣ матеріала съ увеличеніемъ ширины желѣза уменьшается толщина его, и слѣдовательно сопротивленіе излому въ сѣченіи a , то примемъ за наивыгоднѣйшее такое поперечное сѣченіе скобы, при которомъ какъ въ деревѣ, такъ и въ желѣзѣ напряженіе доведено до наибольшаго допускаемаго въ этомъ случаѣ предѣла. Предполагая ширину скобы въ 1" и длину забиваемаго конца ея въ 6", получимъ площадь въ $4\frac{1}{2}$ кв. дм., по которой дерево подвержено смятію. Принимая какъ и раньше сопротивление на кв. дм. равнымъ 44 пуд., получимъ общее сопротивление равнымъ $44 \times 4,5 = 198$ пуд.

Примемъ, что усилие это, pl , равномерно распределено по площади въ $4\frac{1}{2}$ кв. дм. при одинаковой ширинѣ, тогда l получимъ равнымъ 4,5 дм. и $pl^2 = 801$; Предѣлъ упругости желѣза при изгибѣ примемъ въ 680 $\frac{\text{пуд.}}{\text{дм}^2}$. Изъ формулы для

случая бруса, задѣланнаго однимъ концомъ въ стѣну,

имѣемъ $680 \cdot \frac{a^2}{6} = \frac{801}{8}$, откуда $a = 0,94''$, т. е. при употребленіи одной скобы на сваю размѣры желѣза оказываются почти квадратными.

При значительныхъ напорахъ толщина скобы выходила бы неудобною для забивки, именно легко могло бы произойти раскалыванье дерева въ мѣстѣ забивки, поэтому лучше задаться толщиной наиболѣе употребительною для скобъ, а именно въ $\frac{5}{8}''$ при ширинѣ въ $1''$ и, найдя сопротивленіе такой скобы на изгибъ, опредѣлить безопасную нагрузку p_l , которая для рассматриваемой скобы выходитъ равной около 60 пуд. Взявъ двѣ такихъ скобы, мы видимъ, что сумма усилій, побѣждаемыхъ расклинкой и двумя скобами равна $120 + 381 = 501$ пуд. Изъ формулы 593 $H = P$ находимъ $H = \frac{501}{593} = 0,84$ саж.—предѣльный напоръ, при которомъ соприженіе насадки расклинкой и двумя скобами размѣровъ $\frac{5}{8}'' \times 1''$ удовлетворительно.

При болѣшихъ напорахъ вмѣсто скобъ нужно ставить хомуты.

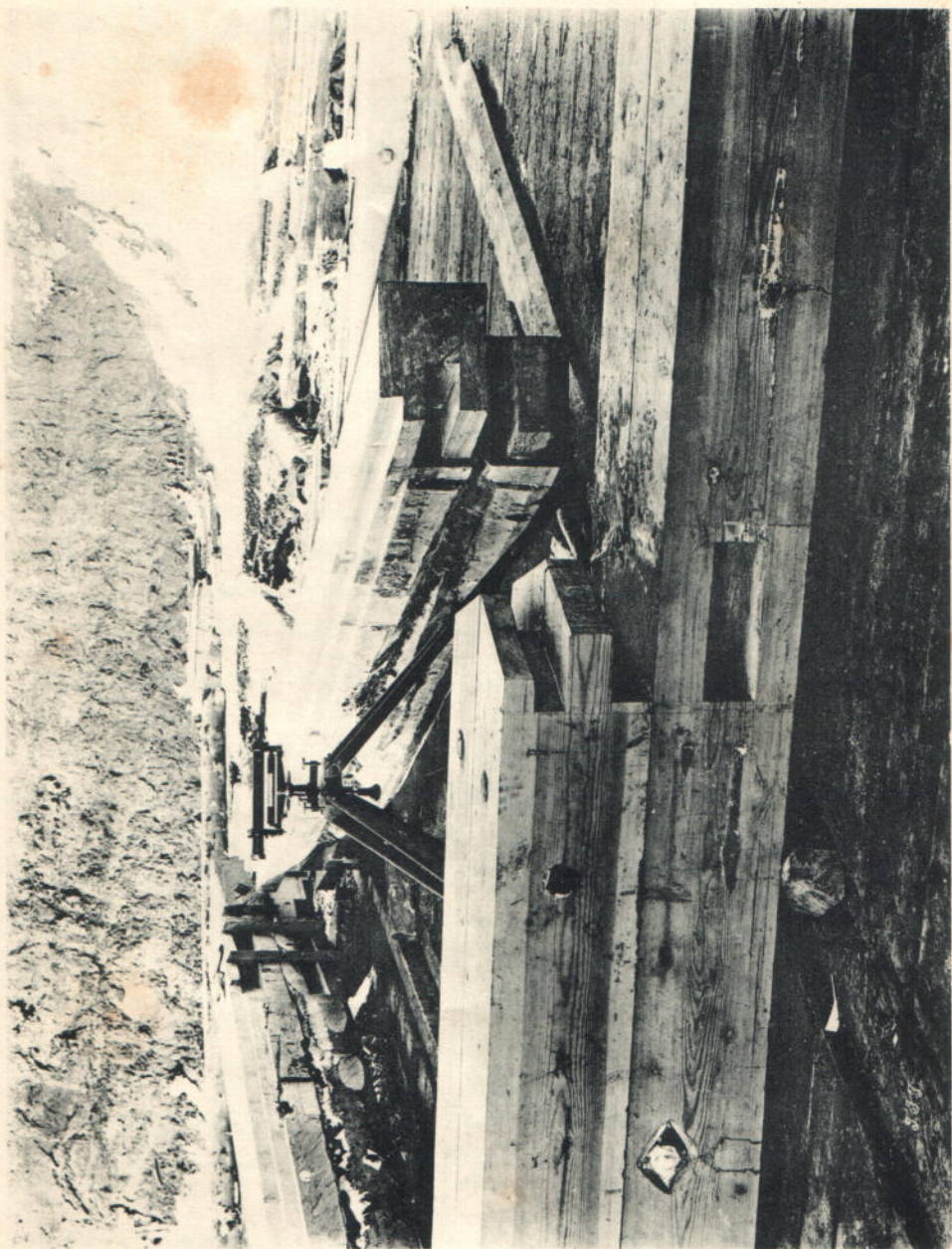
Обозначимъ ширину хомута черезъ b , а толщину его черезъ a ; рассчитывая на напряженіе до предѣла упругости дерева смятію и желѣза разрыву при толщинѣ обтесанной стороны насадки, обхватываемой хомутомъ, въ 9 дм., получимъ: $9 \times b \times 44 = 2ab \cdot 680$, откуда по сокращеніи на b получимъ $a = 0,3$ дм., слѣдовательно выгодно только увеличивать ширину хомута, такъ какъ толщина его получается постоянною. Приравнивая сопротивленіе хомута разрыву силъ, срывающей насадку, за исключеніемъ сопротивленія расклинки, равнаго 381 пуд., можемъ найти размѣръ хомута. Путемъ подобныхъ расчетовъ найдено, что при употребленіи различнаго размѣра хомутовъ (шириною въ $1''$, $1,5''$ и $2''$) предѣльный напоръ колеблется между 1,32 саж. и 2,01 саж.; при болѣшихъ напорахъ требуется увеличивать число свай, съ употребленіемъ хомутовъ.

§ 29. Устройство вереяльныхъ и шандорныхъ столбовъ. Для плотнаго сопряженія запертыхъ воротъ со стѣнами шлюза устраиваются такъ называемые вереяльные столбы; такой столбъ вяжется обыкновенно изъ двухъ брусевъ футовыхъ размѣровъ, вытесанныхъ изъ 10-ти вершковаго лѣса, соединенныхъ между собой шпунтомъ на вставныхъ шинахъ съ прокладкою войлока и связанныхъ черезъ 1 саж. винтовыми болтами. Для свободнаго вращенія воротъ въ этомъ столбѣ дѣлается соотвѣтственная выкружка, и затѣмъ столбъ запускается шипомъ въ колоду короля и прислоняется въ углубленіе, образуемое лицевою стѣною шкафа и выпущенными концами шпунтоваго простѣнка съ врѣзкою въ лицевую стѣну шкафа на глубину 2" и прокладкою смоленаго войлока по плоскостямъ соприкасанія столба со стѣною и простѣнкомъ (черт. 36).

Шандорные столбы существующихъ сооружений поставлены въ углубленія шкафныхъ частей у шандорныхъ колодъ (черт. 37) и приходятся частью надъ этими колодами, частью надъ комплатами. Шандорный столбъ состоитъ изъ 2-хъ брусевъ футовыхъ размѣровъ и запускается въ комплатъ шипами, нарубленными по одному на каждомъ брусѣ.

Однако подобное устройство столбовъ вслѣдствіе нѣкоторыхъ недостатковъ теперь замѣнено слѣдующимъ: въ верхнихъ головахъ шлюзовъ безъ крыльевъ шандорный столбъ изъ 2-хъ футовыхъ брусевъ прикрѣпляется къ выпуску поперечной лицевой стѣны длиною 18" отъ оконечностей лапъ, а по другую сторону выпуска ставятъ двѣ стойки толщиною 8", которыя сквозъ выпускные концы стѣны стягиваются съ шандорнымъ столбомъ винтовыми болтами черезъ 0,5 саж.; за продольною стѣною, концы которой должны быть выпущены за поперечную на 6", помѣщаютъ стойку, къ которой и притягиваютъ вспомогательныя стойки шандорнаго столба; по плоскости соприкасанія столба со стѣнами прокладываютъ войлокъ, торцы-же выпусковъ прикрываютъ досками (черт. 38).

Если верхнія шлюзные части имѣютъ крылья, то шандорный столбъ устраиваютъ такъ, какъ показано на черт. 39.



Детали королы: сопряженіе колоды съ усовикомъ.

Въ нижнихъ шлюзныхъ частяхъ шандорные столбы устраиваютъ такъ, какъ въ верхнихъ, имѣющихъ крылья.

§ 30. Входныя палы. Для предохраненія головныхъ частей шлюза отъ ударовъ при вводѣ судовъ, а также для облегченія самой вводки, необходимо устраивать прочныя входныя палы, которыя, уширяясь постепенно отъ головы шлюза, давали-бы возможность очередному судну приблизиться къ шлюзу и стать по направленію его оси.

Длина палъ въ каналѣ при прямомъ направленіи входа должна быть около $\frac{3}{5}$ длины судна. Палы отъ головы шлюза должны расходиться раструбомъ, разъемъ котораго въ концѣ палъ долженъ быть равенъ двойной ширинѣ судна. Чтобы судно могло легче направиться по оси канала, и чтобы вмѣстѣ съ тѣмъ избѣжать вреднаго угла, въ которомъ сопрягается рѣчная часть палы съ береговою (черт. 40), признается полезнымъ устраивать палы по коробовой кривой, касательной къ направленію лицевыхъ стѣнъ шлюза (черт. 40).

Для устройства палы забиваются по направленію кривой два параллельныхъ ряда свай, расположенныхъ въ шахматномъ порядкѣ и на разстояніи одной сажени свая отъ свай въ каждомъ ряду (черт. 41). На шипы свай надѣваются насадки, скрѣпленные съ каждой сваей и между собой через одну сажень желѣзными скобами. Насадки располагаются на высотѣ 0,15 саж. надъ горизонтомъ воды для того, чтобы въ случаѣ неудачнаго удара судна объ палу оно получило поврежденіе въ надводной своей части, а не подводной; сверхъ того, такъ какъ насадки изнашиваются скорѣе свай, то подобное возвышеніе палы надъ горизонтомъ воды даетъ возможность въ случаѣ перемѣны насадокъ воспользоваться тѣми же самыми сваями съ нарубкою на нихъ только новыхъ шиповъ.

Сверху насадки стесываются, чтобы удобно было по нимъ ходить, но боковыя ихъ стороны остаются круглыми. Для устойчивости палы насадки съ внутренней стороны подкрѣпляются черезъ 1 саж. подкосами, расположенными на сваяхъ,

забитыхъ тоже черезъ 1 саж. Подкосы врѣзываются въ полъ-дерева въ береговую насадку, а съ внѣшнею насадкой скрѣпляются скобами.

Чтобы при ударѣ судна въ палу ни насадки, ни подкосы не поднимались, послѣдніе должны быть горизонтальны; чтобы подкосы лучше сопротивлялись продольному удару, ихъ слѣдуетъ отклонять градусовъ на 15 ко входу. Лѣсъ для свай и подкосовъ берется 5-ти вершковый, а для насадокъ 7-ми вершковый. Шипы дѣлаются сквозные съ расклинкою.

Если пала близко отъ берега, то подкосы можно дѣлать безъ свай, упирая береговые концы въ порогъ, врѣзанный въ откосъ на высотѣ 0,15 саж. надъ горизонтомъ воды; при малой глубинѣ палы можно дѣлать безъ подкосовъ.

Въ грунтахъ, недопускающихъ забивки свай, устраиваются плавучія палы. Такія палы состоятъ изъ лавы и стрѣлъ, упирающихся въ берегъ (черт. 42).

Лава дѣлается изъ 4-хъ шестивершковыхъ бревенъ, расположенныхъ вряду и связанныхъ между собою горизонтальными шпонками; стрѣлы-же, которыя располагаются черезъ 4 саж. и въ такомъ направленіи, какъ подкосы постоянныхъ палъ, состоятъ изъ 3-хъ бревенъ, расположенныхъ вряду и связанныхъ точно также горизонтальными шпонками; стрѣлы соединяются съ лавою желѣзными наметками съ пробоями (черт. 43) и немного врубаются въ первое бревно лавы; для упора другого конца стрѣлы у берега слѣдуетъ забивать небольшія сваи, если-же и ихъ забить невозможно, то стрѣлы упираютъ непосредственно въ берегъ. Подобныя палы при своей дешевизнѣ имѣютъ и то преимущество передъ плавучими палами другого типа, что онѣ чрезвычайно гибки, а, слѣдовательно, представляютъ меньшую опасность для ударяющихся объ нихъ судовъ; при томъ, имѣя ширину около 0,5 саж., онѣ очень удобны для прохода рабочихъ.

Плавучія палы приходится устраивать также въ мѣстахъ, гдѣ горизонтъ воды подвергается значительнымъ колебаніямъ, и устраивать ихъ такъ приспособленными, чтобы онѣ могли свободно подниматься и опускаться, не измѣняя своего положенія въ горизонтальной плоскости.

Подобная пала имѣется на Маріинскомъ пути у шлюза Св. Константина (черт. 44). Она состоитъ изъ 4-хъ семи-вершковыхъ бревенъ, расположенныхъ по два въ рядъ и связанныхъ между собой вертикальными и горизонтальными болтами (которые слѣдуетъ во избѣжаніе поврежденій судовъ замѣнить шпонками); между этими бревнами зажаты лапы стрѣлъ, состоящихъ изъ одиночныхъ брусевъ, свободные концы которыхъ подвинчены къ плавающему прогону, упирающемуся въ рядъ свай, забитыхъ у берега и не позволяющихъ палѣ вдаваться въ берегъ; чтобы пала не могла отходить отъ берега, по другую сторону прогона по линіи параллельной заднему ряду забиты четыре круглыя сваи.

На черт. 45 изображена шандорная перемычка въ верхней головѣ шлюза Св. Самсонія.

Желѣзные створчатые ворота шлюзовъ.

§ 31. Краткія свѣдѣнія о постепенной выработкѣ типа шлюзныхъ воротъ. Желѣзные и деревянные ворота должны удовлетворять слѣдующимъ условіямъ: они должны представлять прочный затворъ, который можно по временамъ открывать и закрывать и который былъ бы въ состояніи, по мѣрѣ надобности, поддерживать болѣе высокій горизонтъ воды съ одной стороны; поэтому они должны принимать на себя напоръ воды и передавать его на стѣны и полъ сооруженія; кромѣ того они должны быть плотны и водонепроницаемы; ремонтъ ихъ въ случаѣ необходимости долженъ производиться безъ особыхъ затрудненій и обходиться недорого; наконецъ они должны легко открываться и закрываться. Въ общемъ же конструкція ихъ будетъ тѣмъ лучше, чѣмъ проще и яснѣе передача дѣйствующихъ усилій на стѣны.

Для устройства шлюзовыхъ воротъ желѣзо начали примѣнять въ XIX столѣтіи; до 1820 г. ворота дѣлались только изъ дерева. По мѣрѣ увеличенія судовъ пришлось увеличи-

вать ширину и глубину шлюзовъ, въ особенности морскихъ, а вмѣстѣ съ тѣмъ пришлось дѣлать ворота все выше и шире. Поперечныя сѣченія деревянныхъ ригелей, поворотныхъ столбовъ и подъемныхъ валовъ получились бы такихъ размѣровъ, что ворота были черезчуръ тяжелы и обошлись бы слишкомъ дорого. Для устройства такихъ воротъ можно примѣнять очень немногіе и при томъ дорогіе сорта дерева. При этомъ надо замѣтить, что въ моряхъ шашень быстро разрушаетъ всѣ породы деревьевъ за исключеніемъ грѣнхартоваго и еще болѣе дорогого тикаваго. Какъ средство противъ шашенія примѣняютъ обивку дерева гвоздями—отъ 1700 до 2500 гвоздей или 22 до 25 kg. на 1 qm.; но это обходится довольно дорого, при чемъ срокъ продолжительности службы дерева едва достигаетъ 30 лѣтъ, и расходы на ремонтъ съ годами все увеличиваются.

Какъ только научились примѣнять въ качествѣ строительнаго матеріала желѣзо, естественно воспользовались имъ и для устройства шлюзовыхъ воротъ большихъ размѣровъ. Въ шлюзахъ значительной ширины, при большой разницѣ горизонтовъ воды и въ особенности въ шлюзахъ морскихъ гаваней, доковъ и т. д. металлическія ворота совсѣмъ вытѣснили деревянные. Иначе обстоитъ дѣло съ шлюзовыми воротами, служащими для внутреннихъ водяныхъ сообщеній. Здѣсь приходится имѣть дѣло съ значительно меньшими усилями, а потому нѣтъ крайней необходимости въ замѣнѣ деревянныхъ воротъ металлическими. Въ дѣйствительности для такихъ сооруженій дерево представляетъ даже значительныя выгоды: оно легко поддается обработкѣ, въ случаѣ его примѣненія легко достигается необходимая плотность въ закрытѣ шлюза и въ поворотныхъ столбахъ, измѣненіе длины полотнищъ воротъ при колебаніи температуры ничтожно; необходимыя исправленія производятся легче и обходятся дешевле, чѣмъ при желѣзныхъ воротахъ. Продолжительность службы деревянныхъ воротъ конечно не велика, и содержаніе ихъ обходится въ общемъ дороже, чѣмъ желѣзныхъ; но срокъ службы воротъ металлическихъ еще не опредѣленъ точно, такъ какъ примѣнялись они начали сравнительно недавно. Поэтому

въ шлюзахъ внутреннихъ сообщеній еще очень часто примѣняются деревянные ворота; впрочемъ и здѣсь металлическія ворота годъ отъ года начинаютъ примѣняться все чаще.

Сначала начали дѣлать ворота изъ чугуна; при этомъ примѣняли его какъ для остова, такъ и для обшивки; однако и здѣсь, какъ въ мостахъ и стропилахъ, этотъ строительный матеріалъ примѣнялся не долго. Чугунныя ворота были очень тяжелы и очень легко ломались отъ случайныхъ ударовъ; при этомъ ихъ трудно было сдѣлать непроницаемыми для воды; вслѣдствіе этого пришлось скоро отказаться отъ чугуна.

Въ настоящее время для устройства шлюзовыхъ воротъ значительныхъ размѣровъ примѣняютъ исключительно сварочное и литое желѣзо; въ нѣкоторыхъ частяхъ ихъ—напримѣръ, цапфахъ, подшипникахъ, гальсбантахъ—и сталь; въ извѣстныхъ мѣстахъ также бронза. Небольшія шлюзовые ворота въ рѣкахъ и каналахъ также рекомендуется дѣлать изъ желѣза; при чемъ для обшивки металлическаго остова съ успѣхомъ можно примѣнять деревянные доски, такъ что получается смѣшанная конструкція. Для достиженія плотнаго затвора даже въ воротахъ, сдѣланныхъ исключительно изъ желѣза, между поворотнымъ столбомъ и угломъ шкафа, а также въ створахъ ставятъ деревянные бруски.

Изъ различныхъ видовъ шлюзныхъ воротъ мы остановимся только на створчатыхъ, которыя отличаются наибольшимъ распространеніемъ на практикѣ.

§ 32. Створчатые ворота. Створчатые ворота дѣлаются преимущественно съ двумя полотнами. Каждое полотно (deut. *der Flügel*, franz. *vantail* engl. *leaf*, *half gate*) вращается вокругъ оси, расположенной около стѣны камеры, имѣетъ чаще всего четырехугольную форму, въ закрытомъ состояніи опирается одной вертикальной стороной, именно веревальнымъ столбомъ, въ упорный уголъ шкафа; второй вертикальной стороной, именно створнымъ столбомъ, на соответствующую часть второго полотна, а нижнимъ рамнымъ брускомъ на порогъ (deut. *der Drempe*l, franz. *le busc*, engl. *the cill*). Если бы полотна не под-

держивались снизу порогомъ, то въ закрытомъ состояніи они работали бы какъ двѣ части трехшарнирной арки,—въ дѣйствительности же распредѣленіе усилій получается совершенно иное; однако взаимодѣйствіе обоихъ полотенъ воротъ при передачѣ давленія воды на опоры сохраняется.

Створчатые шлюзные ворота вообще представляютъ рациональную конструкцію; ширина каждаго полотна получается немного больше половины ширины шлюза; изгибающіе моменты, по которымъ подбираются сѣченія соответствующихъ частей, получаются очевидно менѣе, чѣмъ въ томъ случаѣ, если бы ворота состояли изъ одного полотна; усилие направленное по оси полотна даетъ возможность въ большей степени использовать матеріалъ; ниши, сдѣланныя въ стѣнахъ для помѣщенія воротъ въ открытомъ состояніи, увеличиваютъ общую длину стѣнъ шлюза только на величину, которая немного больше половины ширины шлюза.

На основаніи всего вышеизложеннаго становится понятнымъ, почему въ большинствѣ шлюзовъ устроены двухстворчатые ворота. Недостатокъ же воротъ этой системы состоитъ въ томъ, что они передаютъ на боковыя стѣны значительныя горизонтальныя усилія, составляющія съ продольными осями стѣнъ почти прямой уголъ, въ виду этого въ соответствующихъ мѣстахъ для большей устойчивости приходится увеличивать толщину стѣнъ.

Оси шлюзныхъ воротъ въ горизонтальной проекціи могутъ быть прямыми, ломанными и плавными кривыми. Последнія такъ называемыя кривыя ворота представляютъ нѣкоторыя выгоды въ смыслѣ распредѣленія усилій; (deut. *gekrümmte Thorflügel*, franz. *vantaux cintrés*, engl. *bent gates*, *curved gates*).

§ 33. Элементы створчатыхъ воротъ. Въ каждахъ воротахъ надо различать двѣ главные части:

A. раму (deut. *das Gerippe*, franz. *la carcasse*, *l'ossature*, engl. *the framework*, *the skeleton*).

B. обшивку (deut. *die Bekleidung*, franz. *le bordé*, *le bordage*, engl. *the skin*).

Въ нѣкоторыхъ случаяхъ рама въ тоже время служить и обшивкой, вообще же рама устраивается отдѣльно и обшивка дѣлается уже по ней.

А. Рама.

Рама состоитъ изъ слѣдующихъ частей:

а) *поворотный или веревальный столбъ* (deut. *die Wendesäule* franz. *le poteau tourillon*, engl. *the pivot post, the hinge post*) представляетъ ту ось, около которой вращается полотно воротъ при открытіи и закрытіи шлюза; въ то время, когда ворота закрыты, онъ упирается въ упорный уголь шкафа.

б) *створный столбъ* (deut. *die Schlagsäule* franz. *le poteau busqué*, engl. *the mitre post*) ставится, какъ и веревальный столбъ, вертикально; при закрытыхъ воротахъ онъ опирается на створный столбъ второго полотна.

в) *нижний рамный брусъ* (deut. *der Untertrahmen*, franz. *l'entretoise inférieure*, engl. *the bottom cross beam, the lowest cross-bar*) опирается въ порогъ.

г) *верхний рамный брусъ* (deut. *der Obertrahmen*, franz. *l'entretoise supérieure*, engl. *the top cross beam*); ограничиваетъ полотно сверху и обыкновенно поддерживаетъ служебный мостикъ.

Къ этимъ четыремъ главнымъ элементамъ, образующимъ раму воротъ, присоединяются слѣдующіе элементы, назначеніе которыхъ состоитъ въ томъ, чтобы передавать давленіе воды отъ обшивки на раму:

е) *ригели* (deut. *die Riegel*, franz. *les entretoises intermédiaires*, engl. *the cross beams, cross-pieces*), которые ставятся горизонтально между веревальнымъ и створнымъ столбомъ; они принимаютъ на себя давленіе воды отъ обшивки и стоекъ, поставленныхъ между ригелями, и передаютъ его на веревальный и створный столбъ. Ригели испытываютъ сложное напряженіе: отъ изгиба и отъ простого сжатія. Какъ въ деревянныхъ, такъ и желѣзныхъ воротахъ часто ригели ставятъ внизу ближе другъ къ другу, чѣмъ вверху, сообразуясь съ распределеніемъ давленія воды. Въ случаѣ примѣненія дерева въ

качествъ строительнаго матеріала приходится по необходимости поступать такимъ образомъ, потому что здѣсь при сравнительно небольшомъ допускаемомъ напряженіи для полученія практически выполнимыхъ размѣровъ ригелей надо дѣйствующую силу разбить на нѣсколько частей меньшей величины и каждую изъ послѣднихъ передавать на отдѣльный ригель соотвѣтствующихъ размѣровъ. Если площадь поперечнаго сѣченія ригеля задана, то разстояніе между ригелями надо назначить съ такимъ расчетомъ, чтобы размѣры ихъ соотвѣтствовали дѣйствующимъ на нихъ усилямъ, и чтобы прочность ихъ была использована полностью; поэтому приходится внизу ставить ихъ чаще, чѣмъ вверху. Въ случаѣ же примѣненія желѣзныхъ ригелей нѣтъ крайней необходимости въ подобной конструкціи, потому что площади поперечныхъ сѣченій въ этомъ случаѣ могутъ быть почти произвольной величины и соотвѣтственно этому на элементы сооруженія можно передавать очень большія усилія; самое же проектированіе сооруженія будетъ тѣмъ точнѣе и тѣмъ проще, чѣмъ меньше отдѣльныхъ элементовъ въ немъ. Вслѣдствіе же того, что въ этомъ случаѣ размѣры cadaго ригеля назначаются, сообразуясь съ дѣйствующимъ на него усиліемъ, разстояніе между ригелями можетъ быть назначено произвольно. Однако иногда и въ желѣзныхъ воротахъ приходится примѣнять ригели одинаковаго сѣченія (напр. изъ прокатнаго желѣза одного калибра); въ такомъ случаѣ разстояніе между ригелями приходится уменьшать къ низу.

f) *Вертикальные промежуточные элементы* (deut. *Lotrechte Zwischenstücke*, franz. *poteaux montants* engl. *verticals, vertical cross beams*) бываютъ двухъ типовъ. Въ ригельномъ типѣ воротъ (см. выше e) стойки ставятся между горизонтальными ригелями для того, чтобы дать обшивкѣ болѣе надежную опору, соединить ригели другъ съ другомъ для предохраненія ихъ отъ продольнаго изгиба въ вертикальной плоскости и чтобы въ воротахъ съ двойной обшивкой получить непроницаемое для воды подраздѣленіе на части, которыя въ случаѣ надобности могутъ быть заполнены вмѣсто балласта водою. Въ послѣднее же время часто стали примѣнять стоечный



Укладка короля на шлюзъ Св. Николая.

тишь воротъ, въ которыхъ ребра, поддерживающія обшивку, расположены вертикально и упираются лишь въ верхній и нижній рамные брусъ. Въ этомъ случаѣ стойки работаютъ какъ балки и дѣйствующее на обшивку давленіе передаютъ на верхній и нижній рамные брусъ. Иногда въ видахъ облегченія работы горизонтальныхъ рамныхъ брусевъ и вертикальныхъ реберъ ставятъ еще вспомогательные горизонтальные ригели.

г) *Косые ригеля и диагональные тязи* (deut. *die Schrägstäbe*, *Diagonalen*, franz. *les écharpes*, engl. *the diagonal ties*) приводятъ раму въ треугольную связь, препятствующую искаженію (провисанію) открытыхъ воротъ. Косой ригель ставится между верхнимъ рамнымъ брусомъ и веревальнымъ столбомъ, а діагональный тязь идетъ въ обратномъ направленіи т. е. отъ узла, образуемаго верхнимъ рамнымъ брусомъ съ веревальнымъ столбомъ, къ низу створнаго столба. Иногда тязи располагаются накрестъ. Если ворота очень высоки и узки, то все полотно воротъ разбиваютъ по высотѣ на двѣ и болѣе прямоугольныхъ частей и въ каждой изъ нихъ ставятъ одну или двѣ діагонали. Если назначена достаточно жесткая металлическая обшивка, то она будетъ въ состояніи препятствовать искаженію воротъ и вполнѣ замѣнитъ собою діагонали. Поэтому въ воротахъ съ двойной обшивкой можно вовсе не ставить діагоналей; если же обшивка назначена только со стороны верхняго бѣфа, и ворота имѣютъ большую толщину, то не обшитую сторону, полезно усилить наклоннымъ ригелемъ или діагональю.

h) *Щитовые затворы* (deut. *die Schützen*, franz. *les ventelles*, engl. *the sluices*) служатъ для наполненія и опоражниванія шлюзной камеры; очень часто они располагаются въ самыхъ воротахъ; въ воротахъ приморскихъ шлюзовъ и сухихъ доковъ щитовыхъ затворовъ часто вовсе не бываетъ.

i) *Механизмы воротъ.*

а) *Пятники* вмѣстѣ съ *поднятикомъ*. (deut. *der Spurzapfen und die Pfunne*, franz. *la crapaudine*, engl. *the pivot*) на нижнемъ концѣ веревальнаго столба.

β) *Верхняя шейка* или шипъ вертикальнаго вала вмѣстѣ съ *гамсбандомъ* (deut. *der Halszapfen und der Halsband* franz. *le tourillon et collier* engl. *the pivot and the collar*) на верхнемъ концѣ веревяльнаго столба.

γ) *Направляющіе ролики* (deut. *die Laufrollen*, franz. *les roulettes*, engl. *the rollers*) въ большихъ воротахъ примѣняются особенно часто въ Англіи и ставятся на концѣ створнаго бруса или вблизи его для того, чтобы поддерживать часть вѣса открытыхъ воротъ. Направляющіе ролики при движеніи скользятъ по рельсамъ. Въ воротахъ шлюзовъ внутренняго сообщенія ихъ обыкновенно не ставятъ. За послѣднее время и въ Англіи не стали назначать ихъ даже для большихъ шлюзовыхъ воротъ.

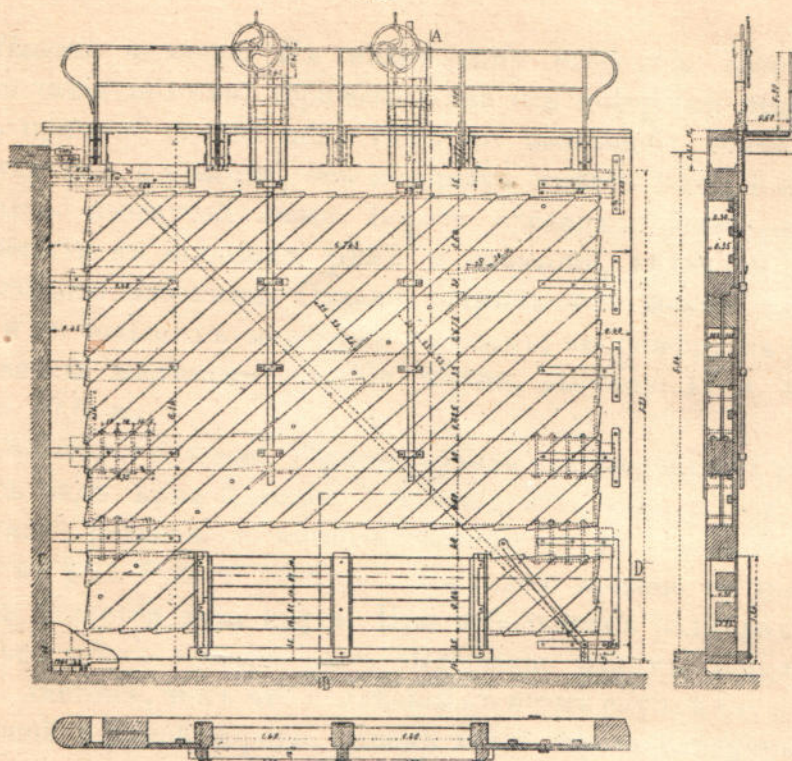
В. Обшивка.

Обшивка бываетъ съ одной и съ двухъ сторонъ. Односторонняя обшивка располагается со стороны верхняго бьефа. На большихъ воротахъ—особенно въ морскихъ шлюзахъ—дѣлаютъ всегда двойную обшивку. Такимъ образомъ получаютъ плавающіе затворы, вѣсъ которыхъ смотря по надобности произвольно можетъ быть увеличенъ или уменьшенъ измѣненіемъ количества балласта (лучше всего воды) въ нѣкоторыхъ отдѣленіяхъ.—Обшивка чаще всего дѣлается изъ волнистаго желѣза (сварочнаго или литого); на малыхъ же воротахъ—изъ деревянныхъ досокъ.

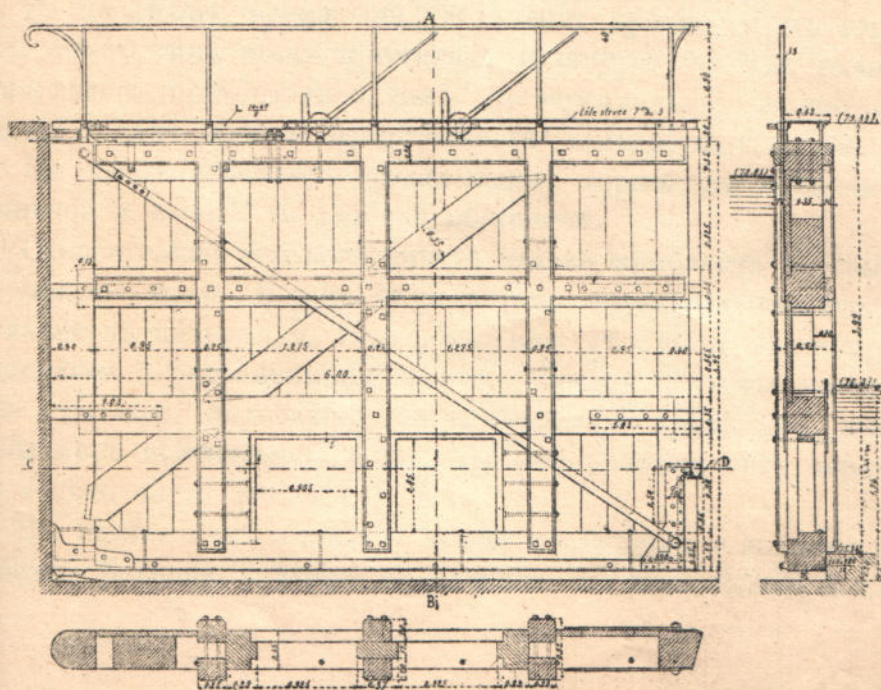
Весьма важную часть воротъ представляютъ брусочки (deut. *die Dichtungsleisten*, franz. *la fourrure*, engl. *the furring pieces*), которыми снабжены створный столбъ, веревяльный столбъ и нижній рамный ригель для увеличенія водонепроницаемости по периметру соприкасания воротъ со стѣнами и порогомъ. Брусочки эти чаще всего дѣлаются изъ дерева; однако въ тѣхъ мѣстахъ, гдѣ дерево быстро разрушается шашнемъ, ставятъ и желѣзные брусочки.

§ 34. Типы створчатыхъ воротъ. По формѣ горизонтальнаго сѣченія полотна воротъ подраздѣляются на плоскія и сводчатыя.

A



Б



Плоскія полотна. Къ этому типу относятся собственно только такія полотна, горизонтальная ось которыхъ представляетъ прямую; однако подъ тѣмъ же названіемъ часто подразумѣваютъ и полотна, ось которыхъ имѣетъ видъ ломанной или слабо изогнутой линіи. Ворота среднихъ размѣровъ, въ особенности въ шлюзахъ рѣкъ и каналовъ, дѣлаются преимущественно плоскими. Однако встрѣчаются ворота того же типа и въ большихъ морскихъ шлюзахъ; на примѣръ въ Гаврѣ поставлены желѣзныя плоскія ворота, высоту 17 м. и шириною 10,6 м.

Сводчатыя полотна. Горизонтальная ось сводчатыхъ воротъ имѣетъ видъ кривой линіи. Рекомендуются назначать эту ось по кривой равновѣсія, которая соотвѣтствуетъ давленію воды. Ниже въ § 41 будетъ доказано, что такую кривую въ данномъ случаѣ является дуга круга. При небольшихъ размѣрахъ воротъ все усиліе можетъ быть выдержано однимъ металлическимъ листомъ, такъ что послѣдній въ этомъ случаѣ служить и обшивкой и рамой воротъ. Однако такія ворота слѣдуетъ усиливать жесткими ребрами въ виду того, что въ нихъ могутъ быть опасныя дополнительныя напряженія отъ ударовъ проходящихъ судовъ, отъ сотрясеній при открываніи и закрываніи и другихъ возможныхъ случайностей.

За послѣднее время для увеличенія прочности въ воротахъ такого типа стали примѣнять волнистое желѣзо, располагая волны горизонтально, такъ что вертикальное поперечное сѣченіе такихъ воротъ представляетъ волнообразную линію.

По числу обшивокъ различаютъ: ворота съ одиночной обшивкой и ворота съ двойной обшивкой.

Относительно первыхъ ничего нельзя прибавить къ тому, что сказано выше. Ворота второго типа примѣняются всегда въ качествѣ плавучихъ затворовъ; они дѣлаются водонепроницаемыми и устраиваются такимъ образомъ, чтобы полный вѣсъ ихъ могъ колебаться въ извѣстныхъ предѣлахъ, такъ чтобы вѣсъ вытѣсненной воды равнялся полному вѣсу воротъ или только части его.

Съ измѣненіемъ горизонта воды измѣняется и давленіе на пятникъ; большое давленіе на пятникъ не желательно; а для

того, чтобы ворота не всплывали, не должно быть и слишком большого уменьшения собственного вѣса (при высокомъ горизонтѣ воды). Поэтому ворота загружаютъ балластомъ съ такимъ расчетомъ, чтобы при самомъ низкомъ горизонтѣ воды давленіе на пятникъ было извѣстной величины (отъ 10 до 15 тн.), которая уменьшается при болѣе высокомъ горизонтѣ воды; а для того, чтобы загрузеніе не оказалось слишкомъ мало, и ворота не всплывали, въ обшивкѣ дѣлаютъ отверстія, черезъ которыя при извѣстномъ горизонтѣ вода можетъ проникать во внутренность воротъ, такъ что по мѣрѣ повышенія горизонта воды давленіе ея на ворота снизу вверхъ увеличиваться не будетъ, если пренебречь ничтожной величиной вѣса объема воды, вытѣсненного только желѣзными частями. Ворота этой конструкціи имѣютъ тотъ недостатокъ, что въ обшивкѣ ихъ имѣются отверстія; однако недостатокъ этотъ повидимому маловаженъ. Въ Англіи въ послѣднее время стали избѣгать устройства такихъ воротъ; теперь даже большія шлюзные ворота дѣлаютъ тамъ съ переменнымъ давленіемъ воды снизу вверхъ; ихъ въ достаточной степени загружаютъ балластомъ такъ, что при самомъ высокомъ горизонтѣ воды сами они всплывать не могутъ; при низкомъ же горизонтѣ воды давленіе на пятны довольно велико.

Для того, чтобы не было слишкомъ большого уменьшенія вѣса воротъ можно верхнюю часть ихъ сдѣлать съ односторонней обшивкой, потому что ближе къ поверхности воды давленіе ея не велико, такъ что здѣсь достаточна одна обшивка съ ригелями, расположенными сзади ея.

Плавающие ворота могутъ быть сдѣланы кривыми. Если обѣ стороны ихъ представляютъ цилиндрическія поверхности (чер. 46), то ось ихъ совпадаетъ съ кривой равновѣсія силъ. Благодаря болѣе выгодному распредѣленію усилій на эти ворота требуется меньше матеріала, чѣмъ на плоскія. Однако въ послѣднее время воротъ такой конструкціи не стали примѣнять, потому что для уменьшенія вреднаго дѣйствія на нихъ сотрясеній и ударовъ, возможныхъ при открываніи, закрываніи ихъ, а равно и при установкѣ, приходится усиливать ихъ настолько, что выгода, указанная выше, почти пропа-

дать. Главные же недостатки кривыхъ воротъ заключаются въ томъ, что трудно достигнуть плотнаго соприкасання воротъ съ кривымъ порогомъ, и въ томъ, что приходится дѣлать въ стѣнахъ шлюза глубокія ниши, которыя ослабляютъ каменную кладку какъ разъ въ томъ мѣстѣ, гдѣ расположены отверстія для впуска и выпуска воды. Недоставки кривыхъ воротъ можно уменьшить, если внутреннюю сторону ихъ сдѣлать плоской, а внѣшнюю по цилиндрической поверхности (чер. 47).

Вслѣдствіе того, что кривыя ворота имѣютъ вышеуказанные недостатки, очень большимъ воротамъ стали теперь придавать трапецидальное сѣченіе. Внутренняя обшивка въ нихъ дѣлается плоской, а внѣшняя, передающая давленіе воды на ригели, въ горизонтальной проекціи имѣетъ форму трапеціи. Такъ какъ ригели находятся въ условіяхъ балки, опирающейся на веревальный и створный столбъ, то наибольшимъ изгибающимъ моментамъ, появляющимся по серединѣ, должна соотвѣтствовать наибольшая высота балки;—отсюда и получились ворота въ формѣ трапеціи (чер. 48). Въмѣсто этого воротамъ можно придать форму, соотвѣтствующую брусу равнаго сопротивленія, если расположить ригели по кривой, какъ указано на черт. 49.

Фасады воротъ. Въ фасады ворота почти всегда представляютъ прямоугольникъ; только въ исключительныхъ случаяхъ примѣняются ворота, нижняя сторона которыхъ сдѣлана по кривой, соотвѣтствующей дну шлюза.

§ 35. Силы, дѣйствующія на створчатые ворота. На ворота дѣйствуютъ слѣдующія силы:

- а) напоръ воды,
- б) давленіе воды, направленное снизу вверхъ,
- в) удары судовъ и волнъ,
- г) удары и сотрясенія при открываніи и закрываніи,
- е) собственный вѣсъ воротъ.

Силы эти вызываютъ со стороны стѣнъ и короля реакціи, дѣйствующія на полотно воротъ. Эти реакціи будутъ разсмотрѣны въ слѣдующемъ параграфѣ.

а) *Напоръ воды* всегда дѣйствуетъ нормально къ поверхности воротъ; если боковая поверхность воротъ вертикальна, то напоръ воды направленъ горизонтально.

На глубинѣ y ниже горизонта воды на элементарную площадку, высота которой равна dy , а измѣреніе перпендикулярное плоскости чертежа (черт. 50) равно единицѣ длины, дѣйствуетъ горизонтально давленіе $dW = \gamma \cdot y \cdot dy$. Здѣсь γ означаетъ вѣсъ единицы объема воды.

Для каналовъ и рѣкъ можно положить $\gamma = 1000$ кил. въ к. м.

для морской воды $\gamma = 1026$ " "

На глубинѣ y ниже горизонта воды на элементъ, высота котораго равна единицѣ длины, давленіе воды

$$z = \frac{dW}{dy} = \gamma y \quad (1).$$

Если для каждой глубины нанести на чертежѣ эту величину въ видѣ горизонтальной ординаты и соединить концы этихъ ординатъ, то получится (черт. 50) прямая линия, уравненіе которой $z = \gamma y$.

При $\gamma = 1$ эта прямая образуетъ съ вертикалью уголъ 45° .

Давленіе воды на отрѣзокъ высотой $a = y_2 - y_1$ будетъ

$$\begin{aligned} W_{y_1}^{y_2} &= \gamma \int_{y_1}^{y_2} y dy = \frac{\gamma}{2} [y_2^2 - y_1^2] = \frac{\gamma}{2} (y_2 - y_1) (y_2 + y_1) = \\ &= \frac{\gamma a (y_2 + y_1)}{2} = F_{y_1}^{y_2}. \end{aligned}$$

$F_{y_1}^{y_2}$ есть площадь заштрихованной трапеціи, соотвѣствующей отрѣзку высотой a (черт. 50). Легко видѣть, что равнодѣйствующая W проходитъ черезъ центръ тяжести трапеціи. Вся площадь *тно* называется площадью давленія.

Если вмѣсто γy вездѣ нанести y , то получится площадь, вѣсъ которой равенъ напору воды. Далѣе будутъ наноситься на чертежъ только величины y (черт. 50 и 51).

Со стороны нижняго бѣефа давленіе воды дѣйствуетъ въ обратномъ направленіи. Давленіе это также можетъ быть

представлено въ видѣ прямоугольнаго треугольника, оба катета котораго равны глубинѣ, измѣренной отъ горизонта нижняго бьефа до нижняго ребра воротъ. На черт. 51 представлено это давленіе графически. Треугольникъ $p n q$ представляетъ напоръ воды со стороны нижняго бьефа, а треугольникъ mon —даетъ напоръ со стороны верхняго бьефа. Изъ чертежа видно, что $\triangle p n q \cong \triangle r s o$, такъ что давленіе на площадь pn представится въ видѣ прямоугольника $p r s n$.

Слѣдовательно на площадку, расположенную въ предѣлахъ нижней воды и имѣющую высоту dy , давленіе равно

$$dW = \gamma y dy - \gamma (y - h_2) dy = \gamma \cdot h_2 dy;$$

$$\frac{dW}{dy} = z' = \gamma h_2.$$

Такимъ образомъ ниже горизонта нижняго бьефа давленіе на единицу площади остается постояннымъ и равно разницѣ горизонтовъ верхняго и нижняго бьефа, умноженной на γ . Площадь давленія на черт. 51 заштрихована по краямъ.

Давленіе воды направлено нормально къ той поверхности, на которую оно дѣйствуетъ. Если это будетъ плоскость, то оно нормально къ послѣдней; при сводчатомъ же очертаніи воротъ давленіе на каждую элементарную площадку направлено по радіусу кривизны. Если сводъ назначенъ по дугѣ круга, то направленія всѣхъ давленій пересѣкаются въ центрѣ круга; черезъ эту точку проходитъ, слѣдовательно, и равнодѣйствующая давленій.

б) Давленіе воды, направленное снизу вверхъ. Нижняя грань воротъ располагается со стороны верхняго бьефа; поэтому давленіе воды на ворота снизу вверхъ будетъ (чер. 52)

$$A = \gamma \cdot h_1 d \cdot l,$$

гдѣ l означаетъ длину, а d толщину полотна воротъ. Если d —переменное, то вмѣсто $l \cdot d$ надо ввести площадь горизонтальной проекціи воротъ; если обозначить площадь эту черезъ F , то

$$A = \gamma h_1 \cdot F.$$

Если ворота сдѣланы только съ одной обшивкой, то вѣсъ воды со стороны нижняго бьефа загружаетъ самый нижній ри-

гель, а слѣдовательно и ворота. Вѣсъ воды, дѣйствующій сверху внизъ, $G' = \gamma \cdot e F$, а потому давленіе снизу вверхъ

$$A = \gamma F(h_1 - e) = \gamma F h_2.$$

Подобнымъ образомъ въ случаѣ плавучихъ затворовъ съ двойной обшивкой, изъ величины $\gamma h_1 F$ надо вычесть вѣсъ воды, заключенной во внутренней полости воротъ.

Вліяніе давленія воды снизу вверхъ на ворота съ одиночной обшивкой ничтожно. На оборотъ въ случаѣ плавучихъ затворовъ оно можетъ достигнуть значительной величины, но во всякомъ случаѣ должно быть менѣе собственного вѣса воротъ; въ противномъ случаѣ ворота могутъ сами всплыть на поверхность.

с) *Удары судовъ* о ворота вообще случаются рѣдко, но могутъ иногда вызвать въ нихъ значительныя дополнительныя напряженія, которыя нельзя опредѣлить точно. Для приближительнаго же расчета можно примѣнить слѣдующій способъ: если двѣ массы M_1 и M_2 движутся со скоростями U_1 и U_2 , то послѣ неупругаго удара общая скорость ихъ

$$U = \frac{M_1 U_1 + M_2 U_2}{M_1 + M_2} \quad \text{т.к. } U_2 = 0, \text{ то}$$

$$U = \frac{M_1 U_1}{M_1 + M_2}$$

Потеря живой силы составляетъ

$$\mathfrak{B} = \frac{M_1 M_2}{(M_1 + M_2)} \cdot \frac{(U_1 - U_2)^2}{2}.$$

Въ данномъ случаѣ скорость одной массы, т. е. массы воротъ M_2 равна нулю, слѣдовательно

$$\mathfrak{B} = \frac{M_1 M_2 U_1^2}{2(M_1 + M_2)}.$$

Оставшійся послѣ удара запасъ живой силы

$$\mathfrak{B} = \frac{M_1^2 U_1^2}{2(M_1 + M_2)}$$

превратится въ механическую работу, которая будетъ производиться давленіемъ D до тѣхъ поръ, пока массы M_1 и M_2 не остановятся; D есть сила, дѣйствующая на пару полотень

воротъ или соотвѣтственно на одно полотно и равная давленію судна, масса котораго M_1 , и которое двигалось до удара со скоростью U_1 . Если путь, пройденный судномъ послѣ удара до полной остановки, обозначить черезъ s и предположить, что во время удара измѣненіе D отъ 0 до D_{max} и потомъ опять до 0 совершается по закону прямой линіи, то полная работа силы D будетъ $\mathcal{A} = \frac{Ds}{2}$. Работа эта равна оставшейся послѣ

удара живой силѣ. Слѣдовательно: $\frac{Ds}{2} = \frac{M_1^2 U_1^2}{2(M_1 + M_2)}$

$$D = \frac{M_1 U_1^2}{s} \left(\frac{M_1}{M_1 + M_2} \right) \dots \dots \dots (2).$$

Если обозначить черезъ Q_1 и Q_2 вѣса тѣлъ, массы которыхъ M_1 и M_2 , то $Q_1 = M_1 g$ и $Q_2 = M_2 g$ т. е. $\frac{M_1}{M_1 + M_2} = \frac{Q_1}{Q_1 + Q_2}$ и

$$D = \frac{Q_1 U_1^2}{gs} \left(\frac{Q_1}{Q_1 + Q_2} \right) \dots \dots \dots (2^a).$$

На практикѣ можно положить $\frac{Q_1}{Q_1 + Q_2}$ равнымъ 1, тогда съ достаточной точностью

$$D = \frac{Q_1 U_1^2}{gs} = \frac{Q_1 U_1^2}{9,81 \cdot s} \dots \dots \dots (3).$$

Handwritten notes:
 $s = \frac{M_1 U_1^2}{2g} = \frac{Q_1 U_1^2}{2g}$
 $s = \frac{Q_1 U_1^2}{2g}$

Q_1 и U_1 можно считать извѣстными; путь s можно опредѣлить при нѣкоторыхъ допущеніяхъ въ зависимости отъ U_1 . Положимъ, судно ударяетъ въ оба створныхъ столба воротъ по направленію длины шлюза, и при томъ ударъ распредѣляется на два ригеля, тогда D вызоветъ въ обоихъ ригеляхъ усилія $P = \frac{D}{2 \sin \alpha}$ (здѣсь α есть уголъ, составляемый гранью порога съ линіей перпендикулярной къ оси шлюза; см. чер. 53). Подъ вліяніемъ силы P ригель укоротится на λ . Если длина ригеля (т. е. ширина воротъ) — l , площадь поперечнаго сѣченія его — F , модуль упругости — E , то $\lambda = \frac{l \cdot P}{E F} = \frac{l D}{2 E F \sin \alpha}$.

Въ то же время должно быть $\lambda = s \cdot \sin \alpha$, то есть $s = \frac{\lambda}{\sin \alpha}$.

$$s = \frac{Dl}{2EF \sin^2 \alpha} \dots \dots \dots (4).$$

Если подставить значеніе s въ уравненіе (3), то получится

$$D = \frac{Q_1 U_1^2 2EF \sin^2 \alpha}{g \cdot Dl}, \text{ откуда}$$

$$D = U_1 \sin \alpha \sqrt{\frac{2EFQ_1}{gl}} \dots \dots \dots (5).$$

По формулѣ (5) можно опредѣлить силу удара, если извѣстна скорость судна U_1 до удара.

Примѣръ. Положимъ: $Q = 500$ тн., $F = 100$ сант.², $E = 2000 \frac{\text{тн.}}{\text{санти.}^2}$ $l = 4$ м., $g = 9,81$ м., $\sin \alpha = 1/4$; тогда

$$D = \frac{U_1}{4} \sqrt{\frac{2 \cdot 2000 \cdot 100 \cdot 500}{9,81 \cdot 4}} = 564 U_1.$$

Если $U_1 = 0,2$ м., то $D = 112,8 \sim 113$ тн.

Выше было принято, что сила удара D распредѣляется только на одну пару ригелей; если же судно ударяется въ ворота между двумя парами ригелей, такъ что обѣ онѣ начинаютъ работать, то за F надо принять сумму поперечныхъ сѣченій обоихъ ригелей или нѣкоторую часть этой суммы.

Можно также опредѣлить наибольшую скорость U_1 судна, которая не вызываетъ еще въ ригеляхъ опасныхъ напряженій. Согласно предыдущему $P = \frac{D}{2 \sin \alpha}$, а изъ уравненія (5)

$$P = U_1 \sqrt{\frac{EFQ_1}{2gl}} \dots \dots \dots (6).$$

Подкоренное количество извѣстно; извѣстна также наибольшая допускаемая величина ломающей силы P . Отсюда получится наибольшая допускаемая скорость U_1 . — Предѣльное значеніе P въ этомъ расчетѣ можно назначить также по допускаемому напряженію K для простого сжатія.

Наибольшее напряженіе на сжатіе въ сѣченіи ригеля будетъ

$$N = \frac{P}{F} = U_1 \sqrt{\frac{E Q_1}{2 F g l}},$$

и если N не должно превосходить величины K , то изъ формулы для U_1 слѣдуетъ

$$U_1 = K \sqrt{\frac{2 F g l}{E Q_1}} \dots \dots \dots (7).$$

По формуламъ (6) и (7) получаются различныя величины допускаемой скорости U_1 смотря по тому, вводится ли въ расчетъ предѣльное значеніе ломающей силы или наибольшее допускаемое напряженіе при простомъ сжатіи. Конечно изъ полученныхъ величинъ надо принять меньшую.

Рекомендуется вводить въ расчетъ K и E въ тоннахъ на кв. сант., F въ сант., Q_1 въ тоннахъ, g и l въ сантиметрахъ. Положимъ $K=1 \frac{\text{тн.}}{\text{сант.}^2}$, $E=2000 \frac{\text{тн.}}{\text{сант.}^2}$, $F=100 \text{ сант.}^2$, $Q=500 \text{ тн.}$, $l=400 \text{ сант.}$ $g=981 \text{ сант.}$, тогда

$$\text{Max } U_1 = 1 \sqrt{\frac{2 \cdot 100 \cdot 981 \cdot 400}{2000 \cdot 500}} = 8,9 \text{ сант.} \sim 9 \text{ сант.}$$

Удары волнъ иногда дѣйствуютъ на такъ называемыя переднія ворота шлюза; силу удара можно опредѣлить только на основаніи наблюденій въ данномъ мѣстѣ.

Удары эти особенно опасны для обшивки; поэтому послѣднюю дѣлаютъ иногда значительно сильнѣе, чѣмъ это оказывается необходимымъ по расчету, въ которомъ сила удара волнъ не принята во вниманіе. Рекомендуется придерживаться размѣровъ, провѣренныхъ опытомъ.

d) *Собственный вѣсъ воротъ*. Для расчета и проектированія отдѣльныхъ частей воротъ надо знать собственный вѣсъ ихъ; отъ вѣса воротъ зависятъ напряженія въ частяхъ стѣнъ, прилежающихъ къ воротамъ. Вѣсъ воротъ бываетъ различенъ въ зависимости отъ матеріала, конструкціи, высоты и ширины ихъ.

Точныхъ формулъ для опредѣленія вѣса воротъ не имѣется. Для приближеннаго же опредѣленія вѣса можно пользоваться слѣдующими данными:

1. *Вѣсъ обшивки.* Можно принять:

а) въ шлюзахъ внутреннихъ сообщеній вѣсъ одиночной обшивки изъ листового желѣза $g' = 70—80$ кил. на 1 кв. м.

б) въ шлюзахъ внутреннихъ сообщеній вѣсъ деревянной обшивки $g' = 80—90$ кил. на 1 кв. м.

в) въ морскихъ шлюзахъ при двойной обшивкѣ для каждой изъ нихъ можно положить $g' = 120—130$ кил. на кв. м.

2. *Вѣсъ рамы.* Ичисленіе вѣса нѣсколькихъ воротъ дало различныя значенія его на 1 кв. мет., что зависитъ отъ расположенія ригелей и искусства проектирующаго. При этомъ оказалось, что вѣсъ g'' воротъ *различной высоты, но равной ширины* и притомъ одинаковой конструкціи на 1 квад. мет. почти одинъ и тотъ же. Повидимому g'' находится въ линейной зависимости отъ ширины l полотна воротъ и очень мало зависитъ отъ высоты *).

Для воротъ въ шлюзахъ внутреннихъ сообщеній вѣсъ рамы на 1 кв. мет. можно принять въ килогр.

$$g'' = \text{отъ } 25 \text{ } l \text{ до } 35 \text{ } l.$$

для морскихъ шлюзовъ $g'' = \text{отъ } 20 \text{ } l \text{ до } 30 \text{ } l.$

Здѣсь l означаетъ ширину полотна воротъ въ метрахъ.

$$p = 75 + 25l \text{ кг/м}^2$$

§ 36. Реакція стѣнъ.

а) *Реакція при закрытыхъ воротахъ.* Нагрузка на ворота вызываетъ реакцію со стороны боковыхъ стѣнъ и короля. Опредѣленіе этихъ реакцій весьма важно для расчета стѣнъ и воротъ. Въ горизонтальной проекціи ворота представляютъ трехшарнирную арку, если они не соприкасаются съ королемъ, т. е. опираются только на стѣны. При такихъ условіяхъ легко опредѣлить реакцію стѣнъ.

Если давленіе воды $= W$, стрѣла створа $= f$, уголъ створа $= \alpha$, то

$$H = R = \frac{Wl}{2f}.$$

Если нижнее ребро воротъ расположено на h_1 ниже горизонта воды верхняго бьефа и на e ниже горизонта воды

*) Данныя эти и большая часть нижеслѣдующихъ расчетовъ шлюзовыхъ воротъ заимствованы у Landsberg'a „Die eisernen Stemthore der Schiffsschleusen“.

нижняго бьефа, такъ что разность горизонтовъ $h_2 = h_1 - e$, то (черт. 51 и 53)

$$W = \gamma \cdot l \left[\frac{h_2^2}{2} + h_2 \cdot e \right] = \frac{\gamma l h_2}{2} [h_2 + 2e]$$

$$W = \frac{\gamma l h_2}{2} [h_2 + e + e] = \frac{\gamma l}{2} (h_1 - e)(h_1 + e)$$

$$W = \frac{\gamma l}{2} [h_1^2 - e^2] \dots \dots \dots (8)$$

$$\text{и } H = R = \frac{\gamma l^2}{4f} (h_1^2 - e^2) \dots \dots \dots (9).$$

Силы H и R будутъ равнодѣйствующими всѣхъ силъ, передающихся на створный и веревяльный столбы, и расположены на той же высотѣ, какъ и W , т. е. на высотѣ центра тяжести площади давленія.

Въ дѣйствительности же давленіе, принимаемое отъ воды воротами, будетъ уравниваться не только реакціями створа и стѣнъ, но еще и реакціей короля (D) т. е. силами P и D , гдѣ P есть равнодѣйствующая реакцій H и R . Это возможно только въ томъ случаѣ, если P приложено выше W на разстояніи r отъ D (черт. 54). Въ данномъ случаѣ W и w извѣстны, не извѣстны P , D и r . Для опредѣленія этихъ трехъ неизвѣстныхъ условія равновѣсія твердаго тѣла даютъ два уравненія:

$$W = P + D, \quad W \cdot w = P \cdot r.$$

Чѣмъ меньше D , тѣмъ ближе другъ къ другу точки приложенія силъ P и W ; при $D = 0$ онѣ совпадаютъ. Точныя значенія силъ D и P можно найти только на основаніи опредѣленія деформаціи воротъ, что зависитъ отъ конструкціи послѣднихъ. Деформацію воротъ мы не можемъ опредѣлить точно; поэтому при расчетѣ силой D обыкновенно пренебрегаютъ и значенія H и R опредѣляютъ по формулѣ (9). Послѣднія получатся во всякомъ случаѣ болѣе дѣйствительныхъ; едѣланное предположеніе будетъ въ запасъ прочности, потому что оно соотвѣтствуетъ тому случаю, когда влѣдствіе повы-

шенія температуры ширина воротъ на столько увеличится, что нижнее ребро ихъ не будетъ соприкасаться съ королемъ.

Можно допустить, что силы H и R по длинѣ створнаго и веревальнаго столбовъ распредѣляются по тому же закону, какъ и давленіе воды W . Впрочемъ для воротъ извѣстной конструкціи это распредѣленіе легко опредѣлить. Если между створнымъ и веревальнымъ столбами назначены горизонтальные ригели, то давленіе на каждый ригель можно принять равнымъ той части общаго давленія, которая соотвѣтствуетъ площади, ограниченной горизонтальными линіями, проведенными черезъ середины соотвѣствующихъ панелей, такъ что на ригель I дѣйствуетъ давленіе, представленное треугольникомъ abc , на ригель II—трапеціей $bcd e$ и т. д., на нижній рамный брусъ—прямоугольникомъ $hilk$ (черт. 55). Такое предположеніе не согласуется строго съ дѣйствительностью, но во многихъ случаяхъ практики даетъ достаточно точные результаты. Ниже мы дадимъ еще другой способъ расчета. Если же между верхнимъ и нижнимъ рамными брусьями поставлены вертикальныя стойки, то на каждую изъ послѣднихъ дѣйствуетъ давленіе воды, которое легко опредѣлить на основаніи предыдущаго (§ 35, a). Если разстояніе между стойками $=a$, то давленіе на каждую изъ нихъ

$$W = \frac{\gamma a}{2} (h_1^2 - e^2) \dots \dots \dots (10).$$

Реакціи при такой конструкціи воротъ можно опредѣлить точно. Стойки по закону рычага передаютъ силы W на верхній и нижній рамные брусья, на концахъ которыхъ будутъ вызваны усилія H и R ; точное значеніе послѣднихъ легко опредѣлить. (черт. 56). Можно вполнѣ рассчитывать на то, что нижній рамный брусъ будетъ плотно прилегать къ королю, такъ что послѣдній приметъ на себя все усиліе, которое передается на первый.

Каждая стойка передаетъ на верхній и соотвѣтственно на нижній рамный брусъ усиліе (черт. 56).

$$A = \frac{W \cdot x_0}{h_1} = \frac{\gamma a}{2 h_1} (h_1^2 - e^2) x_0$$

$$B = \frac{W(h_1 - x_0)}{h_1} = \frac{\gamma a}{2} \frac{(h_1^2 - e^2)}{h_1} (h_1 - x_0)$$

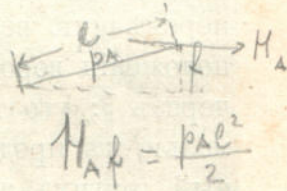
Слѣдовательно нагрузку на единицу длины ригелей можно принять

$$p_A = \frac{\gamma}{2} \frac{1}{h_1} (h_1^2 - e^2) x_0$$

$$p_B = \frac{\gamma}{2} \frac{1}{h_1} (h_1^2 - e^2) (h_1 - x_0)$$

и реакции опоръ

$$H_A = R_A = \frac{p_A l^2}{2f}, \quad H_B = R_B = \frac{p_B l^2}{2f}$$



Если можно пренебречь обратнымъ напоромъ воды со стороны нижняго бьефа, т. е. $e=0$, то $x_0 = \frac{h_1}{3}$, слѣдовательно

$$A = \frac{\gamma a h_1^2}{6}, \quad B = \frac{\gamma a h_1^2}{3}, \quad p_A = \frac{\gamma h_1^2}{6}, \quad p_B = \frac{\gamma h_1^2}{3},$$

$$H_A = R_A = \frac{\gamma h_1^2 l^2}{12f}, \quad H_B = R_B = \frac{\gamma h_1^2 l^2}{6f}.$$

H_B и R_B равны нулю, если нижній брусъ соприкасается съ королемъ.

б) Реакціи при открытыхъ воротахъ.

Реакціи пятника и гальсбанта. Въ томъ случаѣ, когда ворота закрыты, каждый пятникъ долженъ принимать на себя вѣсъ соответствующаго полотна, потому что вертикальная реакція передается на ворота только черезъ пятники.

При открытыхъ воротахъ вертикальная составляющая давленія на пятникъ (черт. 57).

$$V = G - \mathcal{X} \dots \dots \dots (11)$$

здѣсь V —вѣсъ воротъ, \mathcal{X} —уменьшеніе вѣса вслѣдствіе погруженія ихъ въ воду.

Усиліе Z дѣйствующее въ плоскости воротъ на гальсбантъ по черт. 57.

$$Z = \frac{G.b - \mathcal{X}.c}{h} \dots \dots \dots (12)$$

Послѣдняя сила въ планѣ разлагается по направленіямъ тяжей, закрѣпляющихъ гальсбантъ. Если поставлено болѣе двухъ анкеровъ, то задача разложенія силы Z —неопредѣленна; въ случаѣ же примѣненія двухъ анкеровъ усиліе, дѣйствующее на каждый изъ нихъ, можно опредѣлить точно при каждомъ положеніи воротъ.

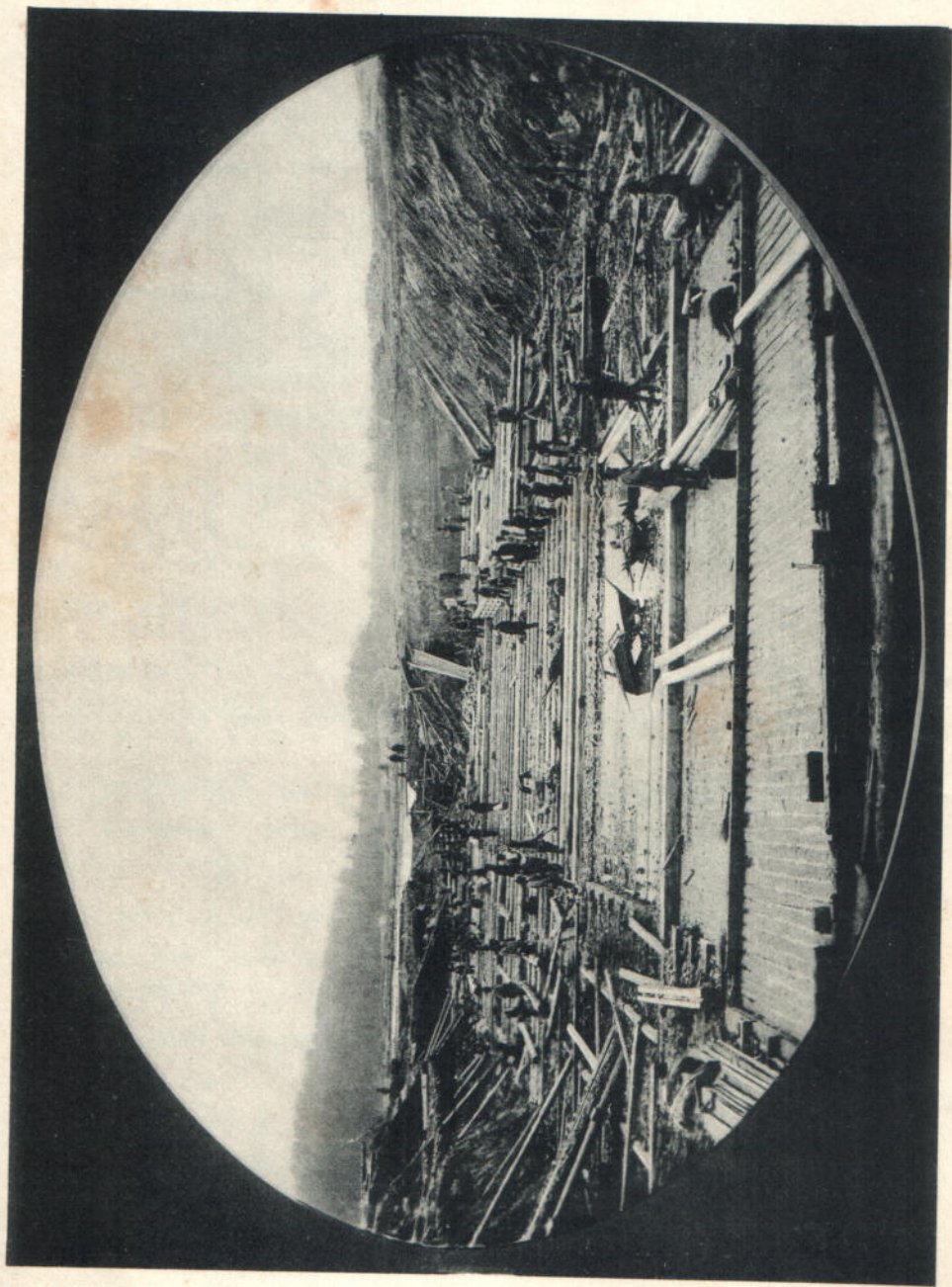
Обозначимъ усилія, дѣйствующія на анкеры черезъ S и T ; переменную величину угла вращенія для нѣкотораго средняго положенія воротъ—черезъ φ ; уголъ между обоими анкерами—черезъ β ; уголъ, составленный осью одного анкера съ нормалью къ продольной оси шлюза—черезъ γ ; уголъ, составленный другимъ анкеромъ съ осью воротъ въ открытомъ положеніи послѣднихъ—черезъ δ ; тогда β , γ , δ , α —постоянны и (черт. 58).

$$S = Z \frac{\sin [90 - (\varphi + \alpha) + \delta]}{\sin \beta}, \quad T = Z \frac{\sin (\gamma + \varphi + \alpha)}{\sin \beta} \dots (13)$$

$\sin \beta$ на практикѣ получается всегда положительнымъ, поэтому S и T будутъ растягивать анкеры въ томъ случаѣ, если числители получатся положительными; наоборотъ S и T будутъ сжимать анкеры, если числители отрицательны. Усиліе S будетъ отрицательнымъ, если $90 - (\varphi + \alpha) + \delta > 180^\circ$; это возможно только въ томъ случаѣ, когда T расположено внутри остраго угла, образованнаго продолженіемъ черезъ O линий, соответствующихъ двумъ крайнимъ положеніямъ воротъ. Усиліе T получится отрицательнымъ при $\gamma + \alpha + \varphi > 180^\circ$, что возможно только въ томъ случаѣ, если S лежитъ въ предѣлахъ указаннаго выше угла. Поэтому если анкеры должны работать только на растяженіе, то они должны по крайней мѣрѣ совпадать съ продолженіемъ крайнихъ положеній воротъ. Если ось воротъ совпадаетъ съ направленіемъ S , то $T = 0$ и $S = Z$, а если ось воротъ совпадаетъ съ направленіемъ T , то наоборотъ $S = 0$ и $T = Z$.

На черт. 58 представлены графически значенія S и T для двухъ крайнихъ положеній воротъ и одного средняго.

Не надо забывать того, что и пяты подвержены горизонтальному давленію Z , потому что условіе равновѣсія воротъ



Укладка половъ на шлювъ Св. Ѳомы.

требуется, чтобы сумма всех горизонтальных сил равнялась нулю. Величину Z легко определить графически, как это указано на чертежѣ 59. Если Q есть равнодѣйствующая G и M , то равнодѣйствующая P силъ Z и Q должна равняться равнодѣйствующей реакціи пятника.

§ 37. Краткій выводъ формулъ для расчета неразрѣзныхъ балокъ. Нѣкоторые элементы шлюзовыхъ воротъ рассчитываются какъ неразрѣзныя балки. Во избѣжаніе повтореній въ дальнѣйшемъ изложеніи приведемъ здѣсь необходимыя формулы и въ случаѣ надобности ниже будемъ ссылаться на этотъ параграфъ.

Зависимость между тремя моментами M_n, M_{n+1}, M_{n+2} , взятыми на трехъ непосредственно слѣдующихъ другъ за другомъ опорахъ, для неразрѣзанной балки постоянного сѣченія выражается слѣдующимъ образомъ: *)

$$M_n l_n + 2 M_{n+1} (l_n + l_{n+1}) + M_{n+2} l_{n+1} = 6 \Omega_n \frac{c_n}{l_n} + 6 \Omega_{n+1} \frac{c'_{n+1}}{l_{n+1}} + 6 EI (tg \beta_{n+1} - tg \beta_n) \dots \dots \dots (14).$$

Здѣсь

Ω_n — есть площадь линіи $D_n C D_{n+1}$ момента простой балки $D_n D_{n+1}$;

c_n — разстояніе центра тяжести ея до опоры D_n ;

Ω_{n+1} — площадь линіи $D_{n+1} C' D_{n+2}$ момента простой балки $D_{n+1} D_{n+2}$;

c'_{n+1} — разстояніе центра тяжести ея до опоры D_{n+2} ;

β_n и β_{n+1} означаютъ углы наклоненія къ оси x -овъ прямыхъ, соединяющихъ двѣ смежныя опорныя точки.

Если все опоры неразрѣзной балки лежатъ на одной прямой, то $\beta_{n+1} = \beta_n$, и послѣдній членъ правой части основнаго уравненія, приведеннаго выше, пропадаетъ.

$\Omega_n c_n$ есть статическій моментъ площади $D_n C D_{n+1}$ относительно точки D_n ;

$\Omega_{n+1} \cdot c'_{n+1}$ есть статическій моментъ площади $D_{n+1} C' D_{n+2}$ относительно точки D_{n+2} .

*) Л. Д. Прокураковъ. „Строительная механика“ стр. 149.

Обозначая моментъ простой балки $D_n D_{n+1}$, взятый на разстояніи x (см. черт. 60) отъ опоры D_n черезъ m_n и моментъ балки $D_{n+1} D_{n+2}$, взятый на разстояніи x отъ опоры D_{n+1} , черезъ m_{n+1} находимъ

$$\Omega_n \cdot c_n = \int_0^{l_n} m_n \cdot x \cdot dx$$

$$\Omega_{n+1} c'_{n+1} = \int_0^{l_{n+1}} m_{n+1} (l_{n+1} - x) dx =$$

$$= l_{n+1} \int_0^{l_{n+1}} m_{n+1} dx - \int_0^{l_{n+1}} m_{n+1} \cdot x \cdot dx.$$

Подставляя полученные значенія въ уравненіе (14), при $\beta_n = \beta_{n+1}$ находимъ

$$\left. \begin{aligned} & M_n l_n + 2 M_{n+1} (l_n + l_{n+1}) + M_{n+2} l_{n+1} = \\ & = \frac{6}{l_n} \int_0^{l_n} m_n \cdot x \cdot dx + 6 \int_0^{l_{n+1}} m_{n+1} \cdot dx - \frac{6}{l_{n+1}} \int_0^{l_{n+1}} m_{n+1} \cdot x \cdot dx \end{aligned} \right\} (15)$$

Примѣнимъ полученное уравненіе (15) для расчета обшивки воротъ ригельной системы.

а) Рассчитываемая часть воротъ расположена выше горизонта нижняго бьефа (черт. 61).

Положительный моментъ для любого сѣченія, взятаго въ пролетѣ n :

$$m_n = \frac{\gamma y_n}{2} (c_n \cdot x - x^2) + \frac{\gamma}{6} (c_n^2 \cdot x - x^3)$$

Для любого сѣченія пролета $n+1$

$$m_{n+1} = \frac{\gamma y_{n+1}}{2} (c_{n+1} x - x^2) + \frac{\gamma}{6} (c_{n+1}^2 x - x^3)$$



$$m_n = x \left(\frac{\gamma c_n^2}{6} + \frac{\gamma y_n c_n}{2} \right) - \frac{\gamma y_n x^2}{2} - \frac{\gamma x^3}{3}$$

Слѣдовательно

$$\int_0^{c_{n+1}} m_{n+1} dx = \frac{\gamma}{2} y_{n+1} \cdot \frac{c_{n+1}^3}{6} + \frac{\gamma \cdot c_{n+1}^4}{6 \cdot 4},$$

$$\int_0^{c_n} m_n x dx = \frac{\gamma y_n}{2} \cdot \frac{c_n^4}{12} + \frac{\gamma c_n^5 \cdot 2}{6 \cdot 15} = \frac{\gamma c_n^4}{6} \left(\frac{y_n}{4} + \frac{2 \cdot c_n}{15} \right)$$

$$\int_0^{c_{n+1}} m_{n+1} x dx = \frac{\gamma c_{n+1}^4}{6} \left(\frac{y_{n+1}}{4} + \frac{2 c_{n+1}}{15} \right)$$

Подставляя найденныя величины въ уравненіе (15), находимъ

$$M_n \cdot c_n + 2 M_{n+1} (c_n + c_{n+1}) + M_{n+2} c_{n+1} = \frac{\gamma c_n^3}{60} (15 y_n + 8 c_n) + \\ + \frac{\gamma c_{n+1}^3}{60} (15 y_{n+1} + 7 c_{n+1}). \quad (16).$$

Если ригели поставлены на равныхъ разстояніяхъ т. е. $c_n = c_{n+1} = c$ то; $y_n = n \cdot c$, $y_{n+1} = (n+1)c$.

$$M_n + 4 M_{n+1} + M_{n+2} = \frac{\gamma c^2}{60} (15c + 15 y_n + 15 y_{n+1})$$

$$M_n + 4 M_{n+1} + M_{n+2} = \frac{\gamma c^3}{2} (n+1) \quad (17).$$

б) Расчетываемая часть воротъ расположена ниже горизонта воды нижняго бьефа (черт. 62).

Если разность горизонтовъ воды $= h'$, то давленіе въ любой точкѣ $p = \gamma h'$.

Въ данномъ случаѣ

$$m_n = \frac{\gamma h'}{2} (c_n x - x^2), \quad m_{n+1} = \frac{\gamma h'}{2} (c_{n+1} x - x^2).$$

$$\int_0^{c_{n+1}} m_{n+1} dx = \frac{\gamma h'}{2} \frac{c_{n+1}^3}{6},$$

$$\int_0^{c_n} m_n x dx = \frac{\gamma h' \cdot c_n^4}{24}$$

$$\int_0^{c_{n+1}} m_{n+1} x dx = \frac{\gamma h'}{24} c_{n+1}^4.$$

Такъ что

$$M_n c_n + 2M_{n+1}(c_n + c_{n+1}) + M_{n+2} c_{n+1} = \frac{\gamma h'}{4} (c_n^3 + c_{n+1}^3) \dots (18)$$

Если $c_n = c_{n+1} = c$, то

$$M_n + 4M_{n+1} + M_{n+2} = \frac{\gamma h' c^2}{2} \dots \dots \dots (19).$$

с) Зависимость между моментами, взятыми относительно ригелей n , $n+1$, $n+2$, причемъ ригель $n+1$ расположенъ на уровнѣ воды нижняго бьефа.

Въ данномъ случаѣ (см. черт. 63).

$$m_n = \frac{\gamma y_n}{2} (c_n x - x^2) + \frac{\gamma}{6} (c_n^2 x - x^3)$$

то же, что для случая (а)

$$\int_0^{c_n} m_n x dx = \frac{\gamma c_n^4}{6} \left(\frac{y_n}{4} + \frac{2c_n}{15} \right)$$

$$m_{n+1} = \frac{\gamma h'}{2} (c_{n+1} x - x^2)$$

то же, что для случая (б)

$$\int_0^{c_{n+1}} m_{n+1} dx = \frac{\gamma h' c_{n+1}^3}{12}, \quad \int_0^{c_{n+1}} m_{n+1} x dx = \frac{\gamma h' c_{n+1}^4}{24}$$

Слѣдовательно

$$M_n c_n + 2M_{n+1}(c_n + c_{n+1}) + M_{n+2} c_{n+1} = \frac{\gamma h'}{4} (c_n^3 + c_{n+1}^3) - \frac{7}{60} \gamma c_n^4 \dots \dots \dots (20)$$

Если $c_n = c_{n+1} = c$, то

$$M_n + 4M_{n+1} + M_{n+2} = \frac{\gamma c^2}{60} (30h' - 7c) \dots \dots \dots (21).$$

Послѣ опредѣленія опорныхъ моментовъ не трудно найти и давленія на опоры. Какъ это дѣлается, будетъ показано ниже въ § 38 на частномъ примѣрѣ.

Обшивка.

§ 38. Расчетъ обшивки изъ досокъ и волнистаго жѣлѣза. Обшивка (deut. *die Bekleidung*, franz. *le bordé, bordage*, engl. *the skin, the cleading, the covering*) должна принимать на себя напоръ воды и передавать его на элементы остова воротъ; кромѣ того она должна быть водонепроницаемой.

а) Расчетъ деревянной обшивки.

Деревянная обшивка на воротахъ состоитъ изъ досокъ, прикрѣпленныхъ вертикально къ горизонтальнымъ ригелямъ; но можно, конечно, доски располагать и горизонтально, прикрѣпляя ихъ къ вертикальнымъ стойкамъ.

Деревянные доски, прикрѣпленные вертикально, рассчитываются какъ неразрѣзныя балки, опоры которыхъ лежатъ въ одной плоскости, перпендикулярной къ направленію дѣйствующихъ силъ. Въ данномъ случаѣ силы, т. е. напоръ воды, дѣйствуетъ горизонтально, слѣдовательно плоскость опоръ надо считать вертикальной. Предположеніе это не совсѣмъ вѣрно, потому что нѣкоторые ригели, которые и служатъ опорами для обшивки, подъ напоромъ воды могутъ прогнуться; но не смотря на это безъ большой погрѣшности можно сдѣлать указанное предположеніе.

При расчетѣ надо разсматривать самый невыгодный случай, когда нѣтъ обратнаго давленія со стороны нижняго бьефа, и когда уровень воды достигаетъ самаго верхняго ригеля. Полную высоту воротъ, а слѣдовательно и наибольшую разность горизонтовъ воды обозначимъ черезъ h ; тогда площадь давленія по § 35а будетъ въ видѣ треугольника.

а) Расстояния между всеми ригелями одинаково и равно c . Обозначая ригели т. е. опоры досокъ, находящихся въ условіяхъ неразрѣзныхъ бѣнокъ, черезъ $0, 1, 2, \dots, n-1, n, n+1, r$ (черт. 64), можно примѣнить уравненіе (17), выражающее зависимость между тремя опорными моментами неразрѣзной бѣнки:

$$M_n + 4 M_{n+1} + M_{n+2} = \frac{\gamma c^3}{2} (n+1).$$

Моменты на крайнихъ опорахъ досокъ т. е. на верхнемъ и нижнемъ ригеляхъ равны нулю, поэтому примѣняя данное уравненіе послѣдовательно для $n=0, 1, 2$ и т. д., получимъ достаточное число уравненій для опредѣленія неизвѣстныхъ опорныхъ моментовъ, число которыхъ $= r-1$. Укажемъ это на примѣрѣ.

Примѣръ. Имѣется 4 ригеля т. е. $r=3$, $h=3c$. Моменты на крайнихъ опорахъ $M_0 = M_3 = 0$; примѣняя общую формулу, получимъ для

$$n=0 \quad 4 M_1 + M_2 = \frac{\gamma c^3}{2}$$

$$n=1 \quad M_1 + 4 M_2 = \gamma c^3$$

$$\text{Отсюда} \quad M_1 = \frac{\gamma c^3}{15} \quad \text{и} \quad M_2 = \frac{7}{30} \gamma c^3$$

Давленія на опоры т. е. на ригели найдутся слѣдующимъ образомъ:

$$\frac{\gamma c^2}{2} \cdot \frac{c}{3} - A_0 c = M_1 = \frac{\gamma c^3}{15} \quad \text{отсюда} \quad A_0 = \frac{\gamma c^2}{10},$$

$$\frac{\gamma 4 c^2}{2} \cdot \frac{2c}{3} - A_0 2c - A_1 c = M_2 = \frac{7}{30} \gamma c^3 \quad \text{отсюда} \quad A_1 = \frac{9}{10} \gamma c^2,$$

$$\frac{\gamma 9 c^2}{2} c - A_0 3c - A_1 2c - A_2 c = M_3 = 0 \quad \text{отсюда} \quad A_2 = \frac{24}{10} \gamma c^2,$$

$$A_3 + A_2 + A_1 + A_0 = \frac{\gamma \cdot 9c^2}{2} \quad \text{отсюда} \quad A_3 = \frac{11}{10} \gamma c^2$$

Наибольшіе моменты между опорами: въ пролетѣ 01 для сѣченія, лежащаго на x ниже 0.

$$M'_x = A_0 x - \frac{\gamma x^3}{6}$$

M'_{\max} получится при x , который опредѣлится изъ уравненія

$$A_0 - \frac{\gamma x^2}{2} = 0 \quad \text{т. е. при} \quad x = \sqrt{\frac{2 A_0}{\gamma}} = \frac{c}{\sqrt{5}} = 0,417 c$$

Слѣдовательно $M'_{max} = 0,0298 \gamma c^3$

M_x будетъ равенъ нулю при $x = c \sqrt{0,6} = 0,77 c$.

Въ пролетѣ 12 для сѣченія, лежащаго на x ниже опоры 1,

$$M''_x = A_0 (c+x) + A_1 x - \frac{\gamma (c+x)^3}{6}$$

M''_{max} получится при x , которое опредѣлится изъ уравненія

$$x + c = \sqrt{\frac{2(A_0 + A_1)}{\gamma}} = c \sqrt{2}, \quad \text{т. е. } x = c(\sqrt{2} - 1) = 0,414 c.$$

$$M''_{max} = A_0 c + (A_0 + A_1) 0,414 c - \frac{\gamma c^3}{3} \sqrt{2} = 0,043 \gamma c^3.$$

M''_x будетъ равно нулю при $x = 0,16 c$ и $x = 0,65 c$.

Въ пролетѣ 23 для сѣченія, лежащаго на x ниже опоры 2,

$$M'''_x = A_0 (2c+x) + A_1 (c+x) + A_2 x - \frac{\gamma (2c+x)^3}{6}$$

Изъ уравненія $(2c+x) = c \sqrt{6,8} \quad x = 0,61 c$, при которомъ будетъ

$$M'''_{max} = 0,21 \gamma c^3$$

и $M'''_x = 0$ при $x = 0,19 c$ и $x = c$.

M_1 и M_2 будутъ отрицательны, а M'_{max} , M''_{max} и M'''_{max} — положительны. Эпюра моментовъ показана на черт. 65. Наибольшій моментъ по абсолют-

ной величинѣ будетъ надъ ригелемъ 2 (черт. 65). $M_2 = \frac{7}{30} \gamma c^3 = 0,233 \gamma c^3$

Этотъ моментъ взять для одного метра, считая это измѣреніе перпендикулярно къ плоскости черт. 65, т. е. для одного метра ширины полотна воротъ. Для одного сантиметра ^{по ширинѣ} наибольшая абсолютная величина момента

$$M'_2 = 0,00233 \gamma c^3 = 2,33 c^3. \quad \text{при } \gamma = 1000$$

Въ это выраженіе c надо подставить въ метрахъ, и тогда моментъ получится въ *kil. met.*

$$\text{Или } M'_2 = (233 c^3_m) \text{ kg. cm.}$$

Если ширина доски = b см., наибольшее допускаемое напряженіе для дерева K^{cg}/q_{cm} , то необходимая толщина доски d_{cm} опредѣлится по формулѣ.

$$\frac{b d^2}{6} = \frac{b \cdot 233 \cdot c^3_m}{K}$$

При $K = 80 \text{ }^{kg}/q_{cm}$ получается

$$d^2 = 17,5 c^3_m. \quad d_{cm} = 4,2 c \sqrt{c}$$

(если въ послѣднюю формулу подставить c въ метрахъ, то толщина d получится въ сантим.).

При $c=1$ м.	$d=4,2$ ст.	круглымъ счетомъ $d=5$ ст.	2^4
» $c=1,5$ »	$d=7,68$ »	» » $d=8$ »	$3\frac{1}{2}$
» $c=2,0$ »	$d=11,88$ »	» » $d=12$ »	$5''$

Въ слѣдующей таблицѣ приведены дѣйствующіе на досчатую обшивку изгибающіе моменты и давленія на ригели (опоры) при различномъ числѣ пролетовъ.

Число пролетовъ.	Моменты надъ ригелями.						Наибольшіе моменты въ пролетахъ.					Давленія на ригели.					
	0	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	0	1	2	3	4	5
2	0	0,125	0	—	—	—	0,008	0,134	—	—	—	0,042	1,25	0,708	—	—	—
3	0	0,067	0,233	0	—	—	0,03	0,043	0,21	—	—	0,10	0,9	2,4	1,1	—	—
4	0	0,09	0,143	0,34	0	—	0,02	0,07	0,078	0,283	—	0,077	1,036	1,86	3,521	1,51	—
5	0	0,081	0,175	0,208	0,445	0	0,024	0,056	0,113	0,104	0,39	0,086	0,986	2,062	2,796	4,681	1,89
	γc^3						γc^3					γc^2					

β) *Разстояніе между ригелями не одинаково.* Обозначимъ разстоянія между ригелями (черт. 66) черезъ c_0 , c_1 , c_2 , c_{n-1} , c_n и разстояніе ригеля n отъ поверхности воды—черезъ y_n . Зависимость между тремя опорными моментами M_n , M_{n+1} , и M_{n+2} выражается уравненіемъ 16:

$$M_n c_n + 2 M_{n+1} (c_n + c_{n+1}) + M_{n+2} c_{n+1} = \\ = \frac{\gamma}{60} [c_n^3 (15 y_n + 8 c_n) + c_{n+1}^3 (15 y_{n+1} + 7 c_{n+1})].$$

Моменты на крайнихъ опорахъ $M_0=0$ и $M_r=0$.

Если составить рядъ подобныхъ уравненій, то число ихъ будетъ равно числу неизвѣстныхъ. Зная опорные моменты, можно опредѣлить моменты для сѣченій, взятыхъ гдѣ-нибудь по серединѣ пролета, и давленія на ригели.

γ) *Горизонтальная обшивка изъ деревянныхъ досокъ.* Обшивка въ этомъ случаѣ прикрѣпляется къ вертикальнымъ стойкамъ.

Конструкция эта представляет некоторые выгоды. Доски обшивки приходятъ въ негодность быстрее всего въ одномъ опредѣленномъ мѣстѣ; а такъ какъ при этой конструкціи всѣ подлежащія смѣнѣ части лежатъ на одной высотѣ, то при этомъ не приходится выбрасывать такихъ частей, которыя еще достаточно прочны, тогда какъ при вертикальной досчатой обшивкѣ последнее почти неизбежно. Кроме того при горизонтальной обшивкѣ легче смѣнить и доски, поврежденные ударами.

Расчетъ этихъ досокъ очень простъ, потому что каждая изъ нихъ находится въ условіяхъ неразрѣзной балки на r опорахъ. Опорами ихъ служатъ вертикальныя стойки, которыя ставятся обыкновенно на равныхъ разстояніяхъ другъ отъ друга. Нагрузка по всей длинѣ доски остается постоянной; если величину ея на единицу длины обозначить черезъ p , то для доски, ось которой расположена на разстояніи y отъ уровня воды, $p = \gamma \cdot y \cdot b$; здѣсь b означаетъ ширину доски.

Зависимость между тремя опорными моментами:

$$M_n c_n + 2 M_{n+1} (c_n + c_{n+1}) + M_{n+2} c_{n+1} = \frac{p}{4} (c_n^3 + c_{n+1}^3) \quad (22).$$

Если разстоянія между стойками $c_0 = c_1 = c_2 \dots = c_n = c_{n+1} = c$, то

$$M_n + 4 M_{n+1} + M_{n+2} = \frac{p c^2}{2} \quad (23).$$

По этой формулѣ легко опредѣлить моменты; впрочемъ соотвѣтствующіе этому случаю моменты и реакціи опоръ можно прямо взять изъ справочной книги „Hütte“ часть I стр. 384 изданія 1897 г.

б) Расчетъ обшивки изъ волнистаго желѣза.

Если образующія волнъ расположены вертикально, то для расчета примѣняются формулы, приведенныя выше (см. α и β).

Примѣръ. Въ предыдущемъ примѣрѣ на стр. 119 найдено, что наибольшій моментъ на ширину 1 м обшивки

$$M'_2 = (2,33 \text{ c}^3_{\text{м.}}) \text{ кгм.} = (233 \text{ c}^3_{\text{м.}}) \text{ кгсм.}$$

При разстояніи между ригелями $c=1,5$ м. $M_2=786,375$ кгсм., а на ширину b см. полотна воротъ $m=786,375 \cdot b$ кгсм.

Если назначена волна шириною $b=10$ см., то $m=7864$ кгсм., и должно быть удовлетворено равенство: $\frac{J}{a} = \frac{m}{K}$.

При допускаемомъ напряженіи $K=500 \frac{\text{кгм.}}{\text{сант.}^2}$ моментъ сопротивленія одной волны долженъ быть

$$W = \frac{I}{a} = \frac{7864}{500} = 15,73 \text{ см}^3.$$

По сортаменту В. Тильманса (см. „Железные мосты“ Е. О. Патона, томъ I, стр. 27) при длинѣ волны 100 мм., высотѣ 80 мм. и толщинѣ 1 мм. моментъ сопротивленія одной волны $W=4,05$ снт.³; при толщинѣ 4 мм. будетъ $W=4 \cdot 4,05=16,2$ снт.³.

Всѣхъ обшивки на 1 кв. метръ $=4 \cdot 16,2=64,8$ кил.

§ 39. Общія замѣчанія относительно расчета плоской обшивки изъ листового желѣза.

Точный расчетъ плоской обшивки изъ листового желѣза очень труденъ; до сихъ поръ вопросъ этотъ собственно и не рѣшенъ окончательно. Главное затрудненіе при этомъ представляется въ опредѣленіи реакцій на обшивку со стороны цѣлой сѣти взаимно пересѣкающихся балокъ. Для того, чтобы прійти къ выводамъ, примѣнимымъ на практикѣ, поневолѣ приходится дѣлать нѣкоторые допущенія.—Въ дальнѣйшемъ изложеніи каждая плоская плита рассматривается отдѣльно. При расчетѣ обшивки надо обращать вниманіе на расположеніе стыковъ ея. При этомъ различаютъ: *главные стыки* т. е. такіе стыки, которые идутъ по всей длинѣ или ширинѣ воротъ и перекрываются такими же накладками, и *второстепенные стыки*, которые не идутъ по всей длинѣ или ширинѣ. Главные стыки бываютъ или горизонтальными, или вертикальными.

1. *Горизонтальные главные стыки.* Стыки эти располагаются надъ каждымъ ригелемъ или же черезъ два ригеля, черезъ три и т. д.

а) При расположеніи стыковъ надъ каждымъ ригелемъ,

болѣе длинная сторона листа ставится горизонтально, а болѣе узкая—вертикально. Если при этомъ между горизонтальными ригелями, вспомогательныхъ вертикальныхъ стоекъ не назначено, то каждый листъ можно рассчитывать какъ балку, задѣланную на опорахъ т. е. ригеляхъ; уголъ задѣлки можно принимать неизмѣннымъ и даже равнымъ нулю.

Если же для большей безопасности между ригелями поставлены вспомогательныя стойки, то расчетъ значительно усложняется. Для упрощенія вычисленій можно вовсе не принимать во вниманіе стоекъ, но тогда толщина листа, опредѣленная расчетомъ, будетъ значительно больше, чѣмъ требуется въ дѣйствительности. Можно также допустить, что листъ свободно опирается всѣми четырьмя кромками; при этомъ опять будетъ значительный запасъ прочности, потому что не принимается во вниманіе связь рассчитываемой части съ сосѣдними.

Иногда обшивка составляется изъ отдѣльныхъ листовъ, которые въ дѣйствительности опираются всѣми четырьмя кромками на ригели и стойки, но только съ сосѣдними частями они все-таки соединяются накладками. Въ этомъ случаѣ листы опять рассчитываются какъ свободно опирающіеся всѣми краями, тогда какъ въ дѣйствительности они закрѣплены.

б) Если горизонтальные стыки назначаются черезъ два, три и т. д. ригеля, то листы болѣе длинной своей стороной располагаются вертикально. Въ случаѣ отсутствія стоекъ каждый листъ будетъ находиться въ условіяхъ неразрѣзной балки. Здѣсь можно примѣнить тотъ же способъ расчета, какъ и для досокъ, поставленныхъ вертикально (см. стр. 118), хотя для большей точности слѣдуетъ принять во вниманіе и задѣлку концовъ.

Если же между ригелями поставлены стойки, то опять каждую плиту рассчитываютъ, не обращая вниманія на закрѣпленіе ея по всѣмъ четыремъ кромкамъ

2. *Вертикальные главные стыки.* На высокихъ, узкихъ воротахъ иногда располагають стыки вертикально; при этомъ

въ случаѣ необходимости горизонтальные стыки назначаютъ надъ ригелями; для вертикальныхъ же стыковъ никакихъ опоръ не требуется. Желѣзные листы въ этомъ случаѣ расчитываются какъ неразрѣзныя балки.

Итакъ ниже придется рассмотреть слѣдующіе случаи расчетовъ:

I. Желѣзный листъ закрѣпленъ на двухъ ригеляхъ. Уголъ задрѣлки равенъ нулю.

II. Желѣзный листъ находится въ условіяхъ многопролетной неразрѣзной балки.

III. Желѣзный листъ опирается всѣми четырьмя кромками.

§ 40. Расчетъ плоской обшивки изъ листового желѣза.

I. Желѣзный листъ закрѣпленъ вертикально на двухъ ригеляхъ.

Ширина разсматриваемаго листа принимается равной одному метру; нагрузка на листъ измѣняется по закону прямой линіи. Нагрузка на часть листа, заключенная между ригелями n и $n + 1$, показана на черт. 67. Реакція ригеля n равна A_n , а реакція ригеля $n + 1$ равна B_{n+1} .

Тогда

$$A_n = \frac{\gamma c_n h_n}{2} + \frac{\gamma c_n^2}{6} - \frac{M_{n+1} - M_n}{c_n}.$$

Здѣсь M_n и M_{n+1} означаютъ моментъ въ плоскостяхъ закрѣпленія листа надъ ригелями n и $n + 1$.

Для произвольнаго сѣченія, взятаго на разстояніи x отъ ригеля n , моментъ

$$M_x = A_n x - M_n - \gamma h_n \frac{x^2}{2} - \gamma \frac{x^3}{6} = EI \frac{d^2 y}{dx^2}.$$

Послѣ интегрированія получается

$$EI \frac{dy}{dx} = A_n \frac{x^2}{2} - M_n x - \gamma h_n \frac{x^3}{6} - \gamma \frac{x^4}{24},$$

$$EI y = A_n \frac{x^3}{6} - M_n \frac{x^2}{2} - \gamma h_n \frac{x^4}{24} - \frac{\gamma x^5}{120}.$$

Для $x = c_n$ будетъ ~~$y = 0$~~ и $\frac{dy}{dx} = 0$, то есть

$$0 = \frac{A_n c_n^2}{2} - M_n c_n - \frac{\gamma h_n c_n^3}{6} - \frac{\gamma c_n^4}{24},$$

$$\text{откуда } A_n = \frac{2 M_n}{c_n} + \frac{\gamma h_n c_n}{3} + \frac{\gamma c_n^2}{12}.$$

Приравнивая полученное значеніе A_n указанному выше, находимъ

$$\frac{2 M_n}{c_n} + \frac{\gamma h_n c_n}{3} + \frac{\gamma c_n^2}{12} = \frac{\gamma c_n h_n}{2} + \frac{\gamma c_n^2}{6} - \frac{M_{n+1} - M_n}{c_n},$$

отсюда слѣдуетъ

$$M_n + M_{n+1} = \frac{\gamma c_n^2 h_n}{6} + \frac{\gamma c_n^3}{12}.$$

При $x = c_n$ и $y = 0$, слѣдовательно

$$0 = \frac{A_n c_n^3}{6} - \frac{M_n c_n^2}{2} - \frac{\gamma h_n c_n^4}{24} - \frac{\gamma c_n^5}{120};$$

при указанномъ выше значеніи A

$$M_{n+1} + 2 M_n = \frac{\gamma}{4} c_n^2 h_n + \frac{7 \gamma c_n^3}{60}.$$

Рѣшая полученныя два уравненія, находимъ моменты въ плоскостяхъ закрѣпленія

$$M_n = \gamma \left(\frac{c_n^2 h_n}{12} + \frac{c_n^3}{30} \right), \quad M_{n+1} = \gamma \left(\frac{c_n^2 h_n}{12} + \frac{c_n^3}{60} \right).$$

Для опредѣленія между опорами сѣченія, для котораго будетъ Maxim. M надо $\frac{d M_x}{d x}$ приравнять нулю.

$$M_x = A_n x - M_n - \gamma h_n \frac{x^2}{2} - \gamma \frac{x^3}{6},$$

$$0 = A_n - \gamma h_n x - \gamma \frac{x^2}{2}$$

$$\text{отсюда } x_{max} = -h_n \pm \sqrt{h_n c_n + 0,3 c_n^2 + h_n^2}$$

Если подставить полученное значение x въ формулу для M_x , то получится M_{max} .

Въ большинствѣ случаевъ по абсолютной величинѣ наибольшимъ бываетъ M_{n+1} ; его и надо принять въ расчетъ.— Если необходимая толщина листа $= \delta_{снм.}$, допускаемое напряжение $= K$, то при ширинѣ листа, равной 1 м.,

$$\frac{100 \delta^2}{6} = \frac{M_{n+1}}{K}$$

Въ предыдущихъ формулахъ γ , c_n и h_n выражены въ метрахъ; $\gamma=1000$ кил.; моменты взяты въ килогр. мет. Для опредѣленія площади сѣченія моменты удобнѣе выразить въ килогр. сант.

Тогда

$$M_{n+1}=1000 \left(\frac{c_n^2 h_n}{12} + \frac{c_n^3}{20} \right) 100 \text{ кил. сант.}; \text{ поэтому}$$

$$\frac{100 \delta^2}{6} = \frac{100000 \cdot c_n^2}{60 \cdot K} (5 h_n + 3 c_n)$$

Можно принять $K=1000$ кил./сант²; слѣдовательно

$$\delta_{снм.}=0,316 c_n \sqrt{5 h_n + 3 c_n} \dots \dots \dots (24).$$

Въ эту формулу надо подставить значенія h_n и c_n въ метрахъ.

Если c_n по всей высотѣ воротъ постоянно, т. е. ригели поставлены на равныхъ разстояніяхъ c другъ отъ друга, то $h_n=n \cdot c$, и формула для δ упростится

$$\delta_{снм.}=0,316 c \sqrt{c (5 n + 3)} \dots \dots \dots (25).$$

Выше приведенный расчетъ сдѣланъ для того случая, когда нѣтъ обратнаго напора воды со стороны нижняго бьефа. Если же этотъ напоръ въ дѣйствительности есть, то на всѣ плиты, расположенныя ниже уровня воды нижняго бьефа, будетъ дѣйствовать равномерно распределенная нагрузка $p=\gamma h'$; въ этомъ случаѣ для балки, закрѣпленной на опорахъ

$$M_{max}=\frac{\gamma h' c_n^2}{12} \text{ и}$$

$$\frac{100 \delta^2}{6} = \frac{100000 \cdot h' \cdot c_n^2}{h \cdot 12} = \frac{100 \cdot h' \cdot c_n^2}{12}, \text{ откуда}$$

$$\delta = 0,707 \cdot c_n \cdot \sqrt{h'} \dots \dots \dots (26).$$

Сюда значенія c_n и h' надо подставить въ метрахъ; h' означаетъ разность горизонтовъ верхняго и нижняго бьефовъ. Для всѣхъ плитъ, расположенныхъ ниже горизонта нижняго бьефа, при c_n равной величины получается одинаковая толщина δ .

Примѣръ. Разность горизонтовъ воды $h'=4,0$ м., ригелей поставлено 9, разстояніе между ними $\zeta=0,8$ м. Примѣняя формулу (25) для пяти верхнихъ плитъ, находимъ

$$\delta_1 = 0,316 \cdot 0,8 \cdot \sqrt{0,8 \cdot 3} = 0,39 \text{ снт. } (n=0).$$

$$\delta_2 = 0,316 \cdot 0,8 \cdot \sqrt{0,8 \cdot 8} = 0,64 \text{ снт. } (n=1).$$

$$\delta_3 = 0,8 \text{ ст.}, \delta_4 = 0,95 \text{ снт.}, \delta_5 = 1,1 \text{ снт.}$$

А для трехъ нижнихъ плитъ по формулѣ (26).

$$\delta = 0,707 \cdot 0,8 \sqrt{4} = 1,13 \text{ снт.}$$

Толщину двухъ верхнихъ плитъ можно принять одинаковой и равной 0,39 снт.

II) Плоскіе листы, опирающіеся на ригели, находятся въ условіяхъ неразрывныхъ балокъ.

Изгибающіе моменты опредѣляются такъ же, какъ для деревянной обшивки (см. § 38). Если разстоянія между всѣми ригелями одинаковы и равны c , то зависимость между тремя опорными моментами выражается уравненіемъ

$$M_n + 4 M_{n+1} + M_{n+2} = \gamma \frac{c^3}{2} (n+1) \dots \dots \dots (27).$$

Если же разстоянія между ригелями не равны между собою, то

$$M_n c_n + 2 M_{n+1} (c_n + c_{n+1}) + M_{n+2} c_{n+1} = \frac{\gamma}{60} [c_n^3 (15 y_n + 8 c_n) + c_{n+1}^3 (15 y_{n+1} + 7 c_{n+1})] \dots \dots \dots (28).$$

Здѣсь c и y выражены въ метрахъ, $\gamma=1000$ кил.; значенія моментовъ получаются въ кил. мет.

Толщина листа опредѣляется изъ уравненія

$$\frac{100 \zeta^2}{6} = \frac{M \text{ (кил. сант.)}}{K}.$$

Можно принять $K=1000$ кил./сант².

Оба уравненія (27) и (28) примѣняются въ томъ предположеніи, что концы листовъ свободны; въ дѣйствительности же они закрѣплены. Можно однако вести расчетъ, принимая во вниманіе это закрѣпленіе; тогда моменты надъ крайними опорами опредѣляютъ, предполагая уголъ закрѣпленія равнымъ нулю.

Въ предѣлахъ глубины воды въ нижнемъ бѣефѣ зависимость между тремя опорными моментами будетъ выражаться уже не уравненіями (27) и (28), а другими, потому что здѣсь нагрузка на единицу длины остается постоянной. Если для упрощенія выкладокъ принять, что уровень воды нижняго бѣефа совпадаетъ со стыкомъ, и что моментъ надъ крайнею опорой равенъ нулю, то желѣзный листъ будетъ находиться въ условіяхъ неразрѣзной балки, равномерно загруженной по всей длинѣ. На черт. 68 такому предположенію соответствуетъ листъ, идущій отъ 4 до 7 ригеля. Для этой части общія зависимость между тремя опорными моментами выразится уравненіемъ:

$$M_n c_n + 2 M_{n+1} (c_n + c_{n+1}) + M_{n+2} c_{n+1} = \gamma \frac{h'}{4} (c_n^3 + c_{n+1}^3) \dots (29)$$

Согласно сдѣланному выше предположенію для случая, указаннаго на черт. 68, моменты надъ ригелями 4 и 7 равны нулю.

Если же надъ ригелемъ, совпадающимъ съ поверхностью воды нижняго бѣефа, стыка вовсе нѣтъ, или же, если этотъ стыкъ перекрытъ накладкой, то опорный моментъ нельзя принимать равнымъ нулю. Въ такомъ случаѣ надо взять для расчета общее уравненіе трехъ моментовъ. Для той части воротъ, ригели которой расположены выше уровня воды нижняго бѣефа и слѣдовательно испытываютъ давленіе только съ одной стороны (на черт. 68 отъ ригеля 0 до 4), остаются въ силѣ уравненія (27) и (28); для остальной же части—уравненіе (29). При $c_n = c_{n+1} = c$ уравненіе (29) преобразуется въ уравненіе

$$M_n + 4 M_{n+1} + M_{n+2} = \gamma \frac{h' c^2}{2} \dots \dots \dots (30);$$

здѣсь h' означаетъ разность горизонтовъ воды верхняго и нижняго бѣфа.

Для трехъ ригелей, изъ которыхъ средній (со значкомъ $n+1$) расположенъ въ уровнѣ воды нижняго бѣфа, т. е. по чертежу 68 для ригелей 3, 4 и 5 зависимость между опорными моментами будетъ выражаться уравненіемъ

$$M_n c_n + 2 M_{n+1} (c_n + c_{n+1}) + M_{n+2} c_{n+1} = \frac{\gamma h'}{4} (c_n^3 + c_{n+2}^3) - \frac{7}{60} \gamma c_n^3 \dots \dots \dots (31)$$

При $c_n = c_{n+1} = c$:

$$M_n + 4 M_{n+1} + M_{n+2} = \frac{\gamma c^3}{60} (30 h' - 7c) \dots \dots \dots (32)$$

При помощи указанныхъ уравненій не трудно опредѣлить моменты для сѣченій обшивки, взятыхъ надъ ригелями. Для сѣченій же, взятыхъ между ригелями, моменты опредѣляются тѣмъ же путемъ, какъ и для деревянной обшивки (см. § 38).

Примѣръ. Ворота сдѣланы съ 8 ригелями, поставленными на равныхъ разстояніяхъ другъ отъ друга. Пусть $c = 0,8$ м., $h' = 3,2$ м. $= 4$ с. Расчетъ дѣлается въ томъ предположеніи, что три нижнія панели обшивки расположены ниже горизонта воды нижняго бѣфа. Моменты M_0 и M_7 принимаются равными нулю. Получаются слѣдующія уравненія

$$(n=0) \quad 0 + 4M_1 + M_2 = \frac{\gamma c^3}{2},$$

$$(n=1) \quad M_1 + 4M_2 + M_3 = \gamma c^3,$$

$$(n=2) \quad M_2 + 4M_3 + M_4 = 3 \frac{\gamma c^3}{2},$$

$$(n=3) \quad M_3 + 4M_4 + M_5 = \frac{113 \gamma c^3}{60},$$

$$(n=4) \quad M_4 + 4M_5 + M_6 = 2 \gamma c^3,$$

$$(n=5) \quad M_5 + 4M_6 + 0 = 2 \gamma c^3.$$

Изъ этихъ шести уравненій получается:

$$M_1 = -0,0854 \gamma c^3 = -43,7248 \text{ kg. m.} = -4372 \text{ kgcm.}$$

$$M_2 = -0,1583 \gamma c^3 = -80,9 \text{ kgm} = -8090 \text{ kgcm.}$$

$$M_3 = -0,2817 \gamma c^3 = -14423 \text{ kgcm.}$$

$$M_4 = -0,2148 \gamma c^3 = -10998 \text{ kgcm.}$$

$$M_5 = 0,343 \gamma c^3 = -17562 \text{ kgcm.}$$

$$M_6 = 0,414 \gamma c^3 = -21197 \text{ kgcm.}$$

Предполагая, что наибольшіе по абсолютной величинѣ моменты бу-

дуть надъ ригелями, найдемъ необходимую толщину листовъ изъ уравненія:

$$\frac{100 \delta^2}{6} = \frac{M}{K} = \frac{M}{1000} \text{ именно:}$$

ригель 1	$\delta_1 = \sqrt{6,0,044} = \infty 5 \text{ см.}$	ригель 2	$\delta_2 = \sqrt{6,0,081} = \infty 0,7 \text{ см.}$
» 3	$\delta_3 = 0,93 \text{ см.} \infty 1 \text{ см.}$	» 4	$\delta_4 = 0,81 \text{ см.} = \infty 0,9 \text{ см.}$
» 5	$\delta_5 = 1,03 \text{ см.} \infty 1,1 \text{ см.}$	» 6	$\delta_6 = 1,13 \text{ см.} = \infty 1,15 \text{ см.}$

III. Металлическіе листы опираются всѣми четырьмя кромками.

1. Плиты расположены выше горизонта воды нижняго бьефа. Здѣсь вопросъ касается расчета прямоугольной плиты, опирающейся всѣми четырьмя кромками и подверженной дѣйствию нагрузки, увеличивающейся къ низу по закону прямой линіи. На соединеніе заклепками, т. е. закрѣпленіе кромокъ, не будемъ обращать вниманія. Точное рѣшеніе этого вопроса очень трудно, такъ какъ для этого надо принять во вниманіе деформацію плиты. Здѣсь для расчета плиты будетъ указанъ приближенный способъ, предложенный Bach—омъ („*Elasticität und Festigkeit*“ s. 361).

а) Плита имѣетъ форму прямоугольника; длина сторонъ— a и b . (черт. 69). Нагрузка отъ верхней стороны (12) возрастаетъ къ нижней (34) съ величины $p_0 = \gamma h$ на единицу площади до величины $p_1 = \gamma(h + b)$. Верхняя сторона прямоугольника (12) расположена на глубинѣ h отъ уровня воды. Для единицы площади, расположенной на z ниже ребра (12), нагрузка $p = \gamma(h + z)$; нагрузка эта остается постоянной по всей ширинѣ плиты. Полная нагрузка на плиту

$$P = \int_0^b p \cdot a dz = \int_0^b \gamma(h + z) a dz$$

$$P = \gamma a \left(h b + \frac{b^2}{2} \right) = \gamma a b \left(h + \frac{b}{2} \right).$$

Предполагается, что реакціи опоръ на горизонтальныя кромки 12 и 34 плиты остаются постоянными по всей длинѣ кромокъ; а реакціи на вертикальныя кромки 13 и 24 возрастаютъ книзу по линейному закону. Предположеніе это не совсемъ вѣрно, но приводитъ къ результатамъ достаточно точнымъ. Обозначимъ реакцію на единицу длины на кромкѣ

12 через σ_0 , на кромкѣ 34—черезъ σ_1 , а реакцію на вертикальныя кромки на разстояніи z отъ верхней кромки 12—черезъ σ . На черт. 69 эти реакціи нанесены перпендикулярно къ соответствующимъ кромкамъ

$$\sigma = \sigma_0 + z \left(\frac{\sigma_1 - \sigma_0}{b} \right)$$

Для опредѣленія неизвѣстныхъ σ_0 и σ_1 достаточно составить два уравненія равновѣсія: алгебраическая сумма всѣхъ силъ, дѣйствующихъ горизонтально на плиту, равна нулю и алгебраическая сумма моментовъ этихъ силъ относительно произвольной оси, положимъ 34, также равна нулю.

Получаемъ:

$$P = \sigma_0 a + \sigma_1 a + 2 \int_0^b \left[\sigma_0 + z \left(\frac{\sigma_1 - \sigma_0}{b} \right) \right] dz =$$

$$= (\sigma_0 + \sigma_1) a + 2 \sigma_0 b + \sigma_1 b - \sigma_0 b = \sigma_0 (a + b) + \sigma_1 (a + b)$$

Если подставить сюда вмѣсто P найденное выше значеніе его, то

$$\sum X = 0 \quad \sigma_0 (a + b) + \sigma_1 (a + b) = \gamma a b \left(h + \frac{b}{2} \right) \dots (33)$$

$$\text{Далѣе: } \sigma_0 a b + \frac{2 \sigma_0 b^2}{2} + (\sigma_1 - \sigma_0) \frac{b^2}{3} - \frac{\gamma h a b^2}{2} - \frac{\gamma b^3 a}{2} \frac{b}{3} = 0 \text{ т. е.}$$

$$\sigma_0 \left(a + \frac{2}{3} b \right) + \sigma_1 \frac{b}{3} = \frac{\gamma a b}{2} \left(h + \frac{b}{3} \right) \dots (34)$$

Рѣшая уравненія 33 и 34, находимъ

$$\sigma_0 = \frac{\gamma a b (3 a h + b h + a b)}{2 (a + b) (b + 3 a)},$$

$$\sigma_1 = \frac{\gamma a b (3 a h + b h + 2 a b + b^2)}{2 (a + b) (b + 3 a)}$$

Для квадрата т. е. при $a = b$ получается

$$\sigma_0^1 = \frac{\gamma a}{16} (4 h + a)$$

$$\sigma_1^1 = \frac{\gamma a}{16} (4 h + 3 a).$$

Равнодѣйствующія реакцій на отдѣльныя кромки прямоугольной плиты:

въ серединѣ кромки 12
$$D_0 = a\sigma_0 = \frac{\gamma a^2 b (3ah + bh + ab)}{2(a+b)(b+3a)}$$

въ серединѣ кромки 34
$$D_1 = a\sigma_1 = \frac{\gamma a^2 b (3ah + bh + 2ab + b^2)}{2(a+b)(b+3a)}$$

реакцій на вертикальныя кромки 13 и 24 разложимъ на двѣ составляющія:

изъ нихъ одна
$$D_2 = \sigma_0 b$$

приложена въ серединѣ, а другая

$$D_3 = \frac{(\sigma_1 - \sigma_0)}{2} b$$

приложена на разстояніи $\frac{b}{3}$ отъ нижней кромки 34.

Предполагается что наибольшія напряженія будутъ въ діагональномъ сѣченіи 23 или 14. Предположеніе это будетъ тѣмъ ближе къ истинѣ, чѣмъ меньше разниа между a и b , такъ какъ при опытахъ, произведенныхъ Бахомъ, квадратныя пластинки рвались по діагоналямъ; для прямоугольных же пластинокъ сдѣланное выше предположеніе опытами не подтвердилось.

Найдемъ моменты силъ (реакцій D_1 , D_2 , D_3 и нагрузки), приложенныхъ къ треугольнику 234, относительно сѣченія 23 (см. черт. 70).

Плечо силы D_1 будетъ

$$\vartheta = \frac{a}{2} \cos \alpha = \frac{ab}{2\sqrt{a^2 + b^2}},$$

моментъ силы D_1

$$D_1 \vartheta = a\sigma_1 \frac{ab}{2\sqrt{a^2 + b^2}} = \frac{\gamma a^3 b^2 (3ah + bh + 2ab + b^2)}{4\sqrt{a^2 + b^2}(a+b)(3a+b)}.$$

Плечо силы D_2

$$\eta = \frac{b}{2} \sin \alpha = \frac{ba}{2\sqrt{a^2 + b^2}} = \vartheta,$$

моментъ силы D_2

$$D_2 \eta = \sigma_0 \frac{b^2 a}{2 \sqrt{a^2 + b^2}} = \frac{\gamma a^2 b^3 (3 a h + b h + a b)}{4 \sqrt{a^2 + b^2} (a + b) (3 a + b)}.$$

Плечо силы D_3

$$\zeta = \frac{2}{3} b \sin \alpha = \frac{2 a b}{3 \sqrt{a^2 + b^2}},$$

моментъ силы D_3

$$\begin{aligned} D_3 \zeta &= \frac{(\sigma_1 - \sigma_0)}{2} \frac{2}{3} \frac{a b^2}{\sqrt{a^2 + b^2}} = \frac{\gamma a^2 b^3 b (a + b)}{6 \sqrt{a^2 + b^2} (a + b) (3 a + b)} = \\ &= \frac{\gamma a^2 b^4}{6 \sqrt{a^2 + b^2} (3 a + b)}. \end{aligned}$$

Нагрузку на треугольникъ 234 можно разбить на двѣ части: 1) равномерно распределенную по всей площади $p = \gamma h$ на единицу площади и 2) увеличивающуюся по линейному закону отъ точки 2 до нижняго ребра 34.—Равнодѣйствующая первой нагрузки $= \frac{p a b}{2}$ и приложена въ центрѣ тяжести треугольника 234; плечо ея относительно оси 23

$$s = \frac{a}{3} \frac{b}{\sqrt{a^2 + b^2}},$$

такъ что моментъ ея

$$m_1 = \frac{\gamma h a^2 b^2}{6 \sqrt{a^2 + b^2}}.$$

Для опредѣленія момента второй части рассмотримъ отрѣзокъ шириною dz , взятый на разстояніи z отъ верхняго ребра прямоугольника. Здѣсь нагрузка на единицу равна γz , такъ что нагрузка на весь отрѣзокъ $= (x dz) \gamma z$, а такъ какъ $x = z \frac{a}{b}$, то нагрузка $= \gamma \frac{a}{b} z^2 dz$.

Плечо этой нагрузки относительно оси 23:

$$u = \frac{x}{2} \frac{b}{\sqrt{a^2 + b^2}} = \frac{z a}{2 \sqrt{a^2 + b^2}},$$

моментъ $dm = \frac{a}{2b} \frac{\gamma a^2 z^3 dz}{\sqrt{a^2 + b^2}} :$

слѣдовательно $m_2 = \frac{\gamma a^2}{2b\sqrt{a^2 + b^2}} \int_0^b z^3 dz = \frac{\gamma a^2 b^3}{8\sqrt{a^2 + b^2}} .$

Такимъ образомъ изгибающій моментъ относительно діагонали $\overline{23}$

$$M = \frac{a^2 b}{2\sqrt{a^2 + b^2}} \sigma_1 + \frac{a b^2}{2\sqrt{a^2 + b^2}} \sigma_0 + \frac{a b^2}{3\sqrt{a^2 + b^2}} (\sigma_1 - \sigma_0) - \frac{\gamma h a^2 b^2}{6\sqrt{a^2 + b^2}} - \frac{\gamma a^2 b^3}{8\sqrt{a^2 + b^2}} ;$$

подставляя сюда вмѣсто σ_1 и σ_0 ихъ значенія, получимъ

$$M = \frac{\gamma a^2 b^2}{24\sqrt{a^2 + b^2}} (2h + b) (35)$$

Допускаемое напряженіе $= K$, толщина листа $= \delta$, моментъ инерціи поперечнаго сѣченія относительно разсматриваемой оси $= I$, тогда

$$\frac{I}{\frac{\delta}{2}} = \frac{M}{K} = \frac{\gamma a^2 b^2 (2h + b)}{24\sqrt{a^2 + b^2} K} ,$$

$$I = \frac{\sqrt{a^2 + b^2} \delta^3}{12} , \text{ поэтому}$$

$$\frac{\sqrt{a^2 + b^2} \delta^3}{6} = \frac{\gamma a^2 b^2 (2h + b)}{24\sqrt{a^2 + b^2} K} ; \text{ слѣдовательно}$$

$$\delta = \frac{a b}{2} \sqrt{\frac{\gamma}{K} \left(\frac{2h + b}{a^2 + b^2} \right)} (36)$$

Если всѣ измѣренія брать въ сантиметрахъ, $K = 1000$ $\frac{\text{кил.}}{\text{сант.}^2}$ и принять уменьшеніе толщины вслѣдствіе ржавчины на 0,1 сант., то получимъ формулу для δ

$$\delta_{cm} = 0,1 + 0,0005 ab \sqrt{\frac{2h+b}{a^2+b^2}} \quad (37)$$

Примеръ. Дано: $a=80$ см., $b=120$ см., тогда

$$\text{для } h=0 \quad \text{см.} \quad \delta_1 = 0,1 + 0,0005 \cdot 80 \cdot 120 \sqrt{\frac{120}{6400+14400}} = 0,1 + 0,033 \cdot 10,95 = 0,46 \text{ см.}$$

$$» \quad h=120 \text{ см.} \quad \delta_2 = 0,1 + 0,033 \sqrt{360} = 0,73 \text{ см.}$$

$$» \quad h=240 \text{ см.} \quad \delta_3 = 0,1 + 0,033 \sqrt{600} = 0,9 \text{ см.}$$

$$» \quad h=360 \text{ см.} \quad \delta_4 = 0,1 + 0,033 \sqrt{840} = 1,06 \text{ см.}$$

б) *Плита квадратная*; длина стороны = a . Здѣсь примѣнимы всѣ вышеприведенныя формулы, если вездѣ вмѣсто b подставить въ нихъ a .

$$\left. \begin{aligned} \sigma'_0 &= \frac{\gamma a}{16} (4h+a) & \sigma'_1 &= \frac{\gamma a}{16} (4h+3a) \\ D_0 &= a \sigma_0 = -\frac{\gamma a^2}{16} (4h+a) & D_1 &= a \sigma'_1 = \frac{\gamma a^2}{16} (4h+3a) \\ D_2 &= \sigma'_0 a = \frac{\gamma a^2}{16} (4h+a) & D_3 &= \left(\frac{\sigma'_1 - \sigma'_0}{2} \right) a = \frac{\gamma a^3}{16} \end{aligned} \right\} \quad (38)$$

$$M = \frac{\gamma a^3 (2h+a)}{24\sqrt{2}} \quad (39)$$

$$\delta = \frac{a}{2} \sqrt{\frac{\gamma}{K} \left(h + \frac{a}{2} \right)} \quad (40)$$

$$\delta_{cm} = 0,1 + 0,0005 a \sqrt{h + \frac{a}{2}} \quad (41)$$

Здѣсь всѣ величины должны быть въ сантиметрахъ.

Примеръ. Дано $a=80$ см., тогда

$$\text{Для } h=0 \quad \delta_1 = 0,1 + 0,0005 \cdot 80 \sqrt{40} = 0,35 \text{ см.}$$

$$» \quad h=120 \text{ см.} \quad \delta_2 = 0,1 + 0,04 \sqrt{120} = 0,54 \text{ см.}$$

$$» \quad h=240 \text{ см.} \quad \delta_3 = 0,1 + 0,04 \sqrt{200} = 0,67 \text{ см.}$$

$$» \quad h=360 \text{ см.} \quad \delta_4 = 0,1 + 0,04 \sqrt{280} = 0,77 \text{ см.}$$

Если бы было $a=100$ см., то

$$\text{для } h=0 \quad \delta_1 = 0,1 + 0,05 \sqrt{h + \frac{a}{2}} = 0,45 \text{ см.}$$

для $h = 100$ см.	$\delta_2 = 0,71$ см.
» $h = 200$ см.	$\delta_3 = 0,89$ см.
» $h = 300$ см.	$\delta_4 = 1,04$ см.

2. Плиты расположены ниже уровня воды нижняго бьефа.

Въ этомъ случаѣ нагрузка на единицу площади плиты вездѣ одинаковая и равна $p = \gamma h'$, гдѣ h' означаетъ разность горизонтовъ воды верхняго и нижняго бьефа. Здѣсь можно предположить, что равнодѣйствующая давленій на опору проходитъ черезъ середину стороны прямоугольника. Вслѣдствіе симметріи реакціи на противоположныя стороны прямоугольника равны (черт. 71). Полная нагрузка будетъ

$$P = \gamma h' a b.$$

Равнодѣйствующая совпадаетъ съ точкой пересѣченія діагоналей прямоугольника.

$$P = D_0 + D_1 + D_2 + D_3$$

а такъ какъ $D_0 = D_1$ и $D_2 = D_3$, то

$$P = 2 D_0 + 2 D_2 = 2 (D_0 + D_2) = 2 (D_1 + D_3)$$

$$D_0 + D_2 = \frac{\gamma h' a b}{2} = D_1 + D_3 \dots \dots \dots (42)$$

Равнодѣйствующая сила D_1 и D_3 проходитъ черезъ линію, соединяющую ихъ точки приложенія; слѣдовательно разстояніе ея отъ діагонали 23

$$w = \frac{a}{2} \frac{b}{\sqrt{a^2 + b^2}}.$$

Поэтому моментъ относительно діагональнаго сѣченія 23

$$\begin{aligned} M &= \frac{\gamma h' a b}{2} \cdot \frac{a b}{2 \sqrt{a^2 + b^2}} - \frac{\gamma h' a b}{2} \cdot \frac{2}{3} \frac{a}{2} \frac{b}{\sqrt{a^2 + b^2}} = \\ &= \frac{\gamma h' a^2 b^2}{4 \sqrt{a^2 + b^2}} \left(1 - \frac{2}{3}\right) = \frac{\gamma h' a^2 b^2}{12 \sqrt{a^2 + b^2}} \end{aligned}$$

(см. *Bach. „Elasticität und Festigkeit“* S. 364).

Итакъ для прямоугольной плиты

$$M = \frac{\gamma h' a^2 b^2}{12 \sqrt{a^2 + b^2}} \dots \dots \dots (43)$$

и

$$\sqrt{a^2 + b^2} \frac{\delta^2}{6} = \frac{\gamma h' a^2 b^2}{12 K \sqrt{a^2 + b^2}},$$

откуда получается

$$\delta = ab \sqrt{\frac{\gamma}{K} \frac{h'}{2(a^2 + b^2)}} \dots \dots \dots (44).$$

Прибавляя 0,1 сант. на ржавчину при $\gamma=1000$ кил. и $K=1000$ кил./сант.² находимъ

$$\delta_{cm} = 0,1 + \frac{ab}{1000} \sqrt{\frac{h'}{2(a^2 + b^2)}} \dots \dots \dots (45).$$

Для квадратной плиты $a=b$, такъ что

$$M = \frac{\gamma h' a^3}{12 \sqrt{2}} \text{ и } \delta = \frac{a}{2} \sqrt{\frac{\gamma}{K} h'} \dots \dots \dots (46),$$

или при численныхъ значеніяхъ, указанныхъ выше,

$$\delta_{cm} = 0,1 + a \cdot 0,0005 \sqrt{h'} \dots \dots \dots (47).$$

Если напимвръ $h'=3,2$ м. = 320 сант., $a=80$ сант., то $\delta=0,1 + 0,04 \cdot \sqrt{320} = 0,82$ сант. а при $h'=400$ сант. и $a=100$ сант. $\delta=0,1 + 0,5 \sqrt{400} = 1,1$ сант.

§ 41. Расчетъ обшивки изъ листового желѣза на криволинейныхъ воротахъ. Въ томъ случаѣ, когда ворота сдѣланы съ криволинейной осью, для передачи дѣйствующихъ силъ на стѣны шлюза можно воспользоваться одной обшивкой; теоретически съ этимъ связано даже нѣкоторое сбереженіе матеріала. Способа расчета указаннаго ниже, нельзя примѣнять для криволинейныхъ воротъ съ ригелями и въ особенности въ томъ случаѣ, когда они имѣютъ двойную обшивку. Обшивка такихъ воротъ рассчитывается такъ, какъ указано выше.

Для всѣхъ точекъ, расположенныхъ на одинаковой глубинѣ y , давленіе на единицу длины дуги будетъ одинаковое,

именно для единицы высоты $p = \gamma h$; давление это перпендикулярно къ касательной, т. е. совпадаетъ съ радіусомъ кривизны. Во всѣхъ сѣченіяхъ дуги, согнутой по кривой равновѣсія, будутъ одинаковыя усилія.

Величина ихъ $T = p \rho$, гдѣ ρ есть радіусъ кривизны дуги въ соотвѣствующемъ мѣстѣ; а такъ какъ для всей дуги на глубинѣ y нагрузка p на единицу длины остается постоянной,

то и $\rho = \frac{T}{p} = \text{const.}$, слѣдовательно линіей равновѣсія въ данномъ случаѣ будетъ дуга круга, такъ что ворота будутъ представлять часть круговаго цилиндра съ радіусомъ R . На глубинѣ y усиліе, дѣйствующее на погонную единицу вертикальнаго сѣченія воротъ,

$$T_y = \gamma \cdot y \cdot R.$$

Если подставить сюда y и R въ метрахъ, $\gamma = 1000$ кил., то получится давление на погонный метръ. Усиліе, дѣйствующее на 1 пог. сант. вертикальнаго сѣченія воротъ $T' = \frac{\gamma \cdot y \cdot R}{100} = 10 \cdot R y$; сюда R и y опять надо подставить въ метрахъ. Если допускаемое напряженіе на 1 сант. равно K , то толщина δ листового желѣза опредѣлится изъ уравненія

$$\delta = \frac{T'}{K} = \frac{\gamma \cdot y \cdot R}{100 \cdot K} = \frac{10 \cdot R y}{K};$$

при $K = 1000$ кил./сант.²

$$\delta_{cm} = \frac{R_m \cdot y_m}{100}.$$

Ниже горизонта воды нижняго бѣфа $T' = \gamma h' R$ и $\delta'_{cm} = \frac{R_m h'_m}{100}$. Здѣсь h' означаетъ разность горизонтовъ воды (см. черт. 68).

Толщина δ возрастаетъ постепенно сверху до горизонта воды нижняго бѣфа; ниже послѣдняго она остается постоянной. Въ большинствѣ случаевъ полученная расчетомъ толщина оказывается слишкомъ мала для практическаго выполненія.

Теоретическое количество листового желѣза (черт. 72).

$$\mathfrak{B} = \int_0^{h'} 2 R \alpha \cdot \delta \cdot dy + 2 R \alpha \delta' (h - h') = \frac{2 R \alpha \gamma R}{K 2} (h')^2 +$$

$$+ \frac{2 R \alpha \gamma R}{K} h' (h - h'),$$

$$\mathfrak{B} = \frac{\gamma \alpha R^2 h'}{K} (2 h - h')$$

при $h = h'$ будетъ $\mathfrak{B} = \frac{\gamma \alpha R^2 h^2}{K}$.

На основаніи этого уравненія можно опредѣлить R или соответственно уголъ α , который удовлетворялъ бы условію, чтобы \mathfrak{B} получалось наименьшимъ.

Имѣемъ $R = \frac{B}{2} \frac{1}{\sin \alpha}$,

т. е. $\mathfrak{B} = \left(\frac{\gamma h' (2 h - h') B^2}{4 K} \right) \frac{\alpha}{\sin^2 \alpha}$.

Minimum \mathfrak{B} получится при α , которое удовлетворяетъ уравненію

$$\sin^2 \alpha_m - 2 \alpha_m \sin \alpha_m \cos \alpha_m = 0,$$

откуда $\tan \alpha_m = 2 \alpha_m$,

т. е. $\alpha_m = 66^\circ 45'$ и $\mathfrak{B}_{min} = \frac{\gamma h' (2 h - h') B^2}{4 K} (1,38) = 0,345 \times$

$$\times \frac{\gamma h' (2 h - h') B^2}{K}$$

Для Minimum будетъ:

$$R_{min} = \frac{B}{2 \cdot 0,9088} = 0,54 B \text{ и } f_{min} = R (1 - \cos \alpha) = \sim 0,33 R.$$

Для усиленія изогнутаго листового желѣза приклепывается тавровое или уголковое желѣзо, въ противномъ случаѣ отъ ударовъ, сотрясеній и т. п. можетъ произойти мѣстное перенапряженіе. Для криволинейныхъ воротъ можно съ успѣхомъ примѣнять волнистое желѣзо, при чемъ образующія волнъ должны располагаться параллельно оси воротъ.

§ 42. Устройство обшивки.

а) Деревянная обшивка.

На небольших шлюзовых воротах внутренних водных сообщений обшивку выгодно дѣлать изъ деревянныхъ досокъ. Такая обшивка хорошо сопротивляется ударамъ, въ случаѣ необходимости починку ея могутъ произвести простые плотники, она достаточно прочна и срокъ службы ея довольно продолжителенъ. Последнимъ качествомъ въ особенности отличается обшивка изъ дубовыхъ досокъ.

Доски располагаются вертикально и прикрѣпляются къ ригелямъ болтами; толщина досокъ смотря по величинѣ давленія воды бываетъ отъ 6 до 12 ст., ширина ихъ 20—30 ст. соединяются онѣ въ притыкъ. Неширокія доски достаточно прикрѣплять къ каждому ригелю только однимъ болтомъ; для прикрѣпленія широкихъ досокъ надо ставить на каждомъ ригелѣ два болта, которые по высотѣ располагаются въ шахматномъ порядкѣ (см. черт. 73 а). Головки болтовъ, діаметръ которыхъ обыкновенно бываетъ отъ 2 до 2,5 ст., располагаютъ обыкновенно со стороны верхняго бьефа, а гайки со стороны нижняго бьефа, такъ что въ случаѣ надобности ихъ легко можно подтягивать.

Вмѣсто того, чтобы соединять болтами доски съ каждымъ ригелемъ, можно со стороны верхняго бьефа къ ригелямъ прикрѣпить нѣсколькими болтами (съ втопленными головками) деревянные бруски, и къ последнимъ прибить доски гвоздями. Въ этомъ случаѣ на створномъ и веревальномъ столбахъ также ставятся деревянные упорные бруски (черт. 73 б). При такой конструкціи ремонтъ воротъ гораздо легче и обходится дешевле.

Ничто не мѣшаетъ располагать доски и горизонтально. Выгоды этой конструкціи уже указаны въ § 38; починка въ этомъ случаѣ производится легче и обходится дешевле; замѣна новыми горизонтальныхъ досокъ, пришедшихъ въ негодность, гораздо проще, чѣмъ при вертикальномъ ихъ положеніи. При такой конструкціи обшивки вмѣсто горизонтальныхъ ригелей ставятъ вертикальныя стойки; но ее можно

примѣнить и для воротъ ригельной системы, стоитъ только къ горизонтальнымъ ригелямъ прикрѣпить вспомогательныя деревянныя стойки. Последнія ставятся другъ отъ друга на разстояніи 80—120 ст., смотря по толщинѣ досокъ.

б) Плоская обшивка изъ листового желѣза.

Толщина листовъ. Теоретическая толщина листовъ возрастаетъ постепенно отъ горизонта воды верхняго бѣфа до горизонта нижняго бѣфа; ниже послѣдняго она остается постоянной. Толщину листовъ нельзя назначать равной полученной расчетомъ; принимая во вниманіе уменьшеніе ея вслѣдствіе ржавчины и дополнительныя напряженія отъ ударовъ, ее надо нѣсколько увеличить.—Не слѣдуетъ назначать листы тоньше 6 mm.; листы толщиною больше 16 mm. приходится примѣнять только въ исключительныхъ случаяхъ. На невысокихъ воротахъ лучше дѣлать обшивку изъ листовъ равной толщины. При двойной обшивкѣ можно со стороны нижняго бѣфа ставить листы меньшей толщины.

Расположеніе стыковъ. Для большихъ воротъ при большой разности горизонтовъ воды, а слѣдовательно и при большой разницѣ въ толщинѣ листовъ, главные стыки лучше располагать горизонтально; при этомъ желательная толщина листовъ больше будетъ приближаться къ полученной расчетомъ. Стыки конечно располагаются надъ ригелями, при чемъ они могутъ совпадать съ каждымъ ригелемъ (черт. 74), или же назначаются черезъ два или три ригеля (черт. 75). Вертикальные стыки чаще располагаются на дополнительныхъ стойкахъ, прикрѣпленныхъ къ ригелямъ; впрочемъ можно и не назначать этихъ стоекъ. Вертикальные стыки могутъ располагаться или въ шахматномъ порядкѣ или же насквозь по всей высотѣ (черт. 74 и 75).

На воротахъ стоечнаго типа главные стыки обшивки располагаются вертикально надъ стойками; если при этомъ желательно на различной высотѣ ставить листы различной толщины, то приходится дѣлать и горизонтальные стыки. Иногда и при горизонтальныхъ ригеляхъ дѣлаютъ сквозные вертикальные стыки (черт. 76).

Размѣры желѣзныхъ листовъ надо выбирать такимъ образомъ, чтобы вѣсъ каждаго листа не превосходилъ 300 или 350 кил. Ширину листовъ назначаютъ около 1 м. На существующихъ воротахъ длина листовъ равняется 2,0 м. 3,0 м. и до 5,5 м., а ширина отъ 0,8 до 1,0 м.

Детали стыковъ. Желѣзные листы въ большинствѣ случаевъ располагаются въ одной плоскости; перекрытіе стыковъ при этомъ дѣлается накладками такой же или почти такой же толщины, какъ и склепываемые листы. Однако можно располагать листы и въ различныхъ плоскостяхъ. Тогда стыки перекрываютъ въ нахлестку. (см. черт. 74 и 75). Такая конструкція вовсе не даетъ сбереженія матеріала.

Такимъ образомъ перекрываются преимущественно горизонтальные стыки; впрочемъ иногда такое перекрытіе применяется и для вертикальныхъ стыковъ (черт. 76). Подъ тѣ листы, края которыхъ остаются снаружи, въ плоскостяхъ соприкасания ихъ съ ригелями приходится ставить подкладки изъ полосового желѣза; впрочемъ можно всѣ листы расположить въ одной плоскости и въ стыкахъ края однихъ нагибать на другіе.

Заклепочныя соединенія дѣлаются такъ же, какъ и во всѣхъ металлическихъ конструкціяхъ; слѣдовательно напряженія на перерѣзываніе и смятіе не должны превосходить допускаемыхъ. При этомъ надо обратить вниманіе на то, чтобы соединеніе было не только прочно, но и обладало плотностью т. е., чтобы въ стыкахъ не просачивалась вода; поэтому разстояніе между заклепками не должно быть велико. Если діаметръ заклепки d , толщина каждаго соединяемаго листа $=\delta$, разстояніе центра заклепки отъ ближайшаго края листа $=e_1$, разстояніе между заклепками e , то можно принять

$d=2\delta$, $e_1=1,5d$, $e=2,5d$ при одномъ рядѣ заклепокъ одиночнаго перерѣзыванія,

$e=3,5d$ при двухъ рядахъ заклепокъ;
разстояніе заклепокъ отъ края листа при двойномъ перерѣзываніи $e_2=3d$. Отсюда получается ширина накладокъ: при расположеніи съ каждой стороны одного ряда заклепокъ оди-

ночного перерѣзыванія она $= 1,5 d \times 4 = 6 d$; при двойномъ перерѣзываніи ширина той же накладки $= 3 d \times 4 = 12 d$.

Для полученія плотнаго соединенія листы въ стыкѣ слѣдуетъ нѣсколько сострогать; горизонтальныя и вертикальныя накладки ни въ коемъ случаѣ не должны соприкасаться въ притыкѣ; лучше, если онѣ будутъ нѣсколько перекрывать другъ друга скошенными краями.—Всѣ стыки листового желѣза и накладокъ, а также заклепочныя головки должны быть хорошо расчеканены такъ, чтобы вовсе не было малѣйшихъ зазоровъ, пропускающихъ воду; для достиженія плотнаго соединенія вовсе не слѣдуетъ примѣнять замазку изъ сурика и другихъ подобныхъ матеріаловъ.

Въ шлюзахъ, построенныхъ въ Гаврѣ для трансатлантическихъ пароходовъ, поставлены ворота стоечнаго типа; горизонтальное сѣченіе стоекъ похоже на поперечное сѣченіе склепанной балки съ добавочными поясными листами. Листы эти назначены такой ширины, что внѣ предѣловъ поясныхъ уголковъ съ обѣихъ сторонъ можно поставить по одному ряду заклепокъ, при помощи которыхъ желѣзные листы обшивки соединяются со стойками (черт. 77). Вертикальные листы обшивки имѣютъ еще нѣсколько стыковъ, такъ что толщину ихъ согласно расчету можно было нѣсколько измѣнять по высотѣ.

Эта конструкція имѣетъ тотъ недостатокъ, что заклепки, прикрѣпляющія обшивку къ стойкамъ, работаютъ на отрываніе головокъ, и подъ напоромъ воды возможно раскрытіе швовъ; но этотъ недостатокъ вполне окунается замѣчательной простотой конструкціи и связаннымъ съ ней сбереженіемъ матеріала.

Въ случаѣ примѣненія для обшивки сравнительно небольшихъ листовъ приходится затрачивать немного больше матеріала на накладки; смотря по конструкціи это увеличеніе затраченнаго матеріала достигаетъ 27% или 30% собственнаго вѣса обшивки. Поэтому въ нѣкоторыхъ случаяхъ выгоднѣе дѣлать обшивку изъ большихъ листовъ и такимъ образомъ уменьшить число накладокъ. Вѣсъ въ килограммахъ одного квадратнаго метра односторонней обшивки изъ листо-

вого желѣза, полагая на накладки и заклепочныя головки въ среднемъ 20⁰/о, можно принять равнымъ

$$g' = 94 \delta$$

гдѣ δ означаетъ толщину листовъ въ сант.

Если толщина листовъ измѣняется, то для предварительнаго подсчета можно за δ принять среднюю его величину.

Недостатки обшивки изъ плоскаго желѣза. Весьма существенный недостатокъ этой конструкціи заключается въ томъ, что по истеченіи нѣкотораго времени нельзя уже достигнуть полной водонепроницаемости въ стыкахъ отдѣльных частей, что особенно важно для плавучихъ затворовъ. Обшивка въ большинствѣ случаевъ получается очень слабой и подъ вліяніемъ дѣйствующихъ силъ она деформируется больше, чѣмъ остовъ воротъ, вслѣдствіе этого приходится смѣнять не только отдѣльныя части обшивки, но и заклепки, прикрѣпляющія ее къ ригелямъ и стойкамъ. Затѣмъ обшивка эта можетъ оказывать незначительное сопротивленіе ударамъ судовъ и проч.; кромѣ того на всякій ремонтъ ея приходится всегда затрачивать много времени и денегъ. Въ морскихъ шлюзахъ ко всему этому присоединяется еще одинъ недостатокъ, для устраненія котораго до сихъ поръ не найдено радикальныхъ мѣръ. Здѣсь рѣчь идетъ объ особой породѣ моллюсковъ, которые по мнѣнію французскихъ инженеровъ продырявливаютъ листовую обшивку.

Указанные недостатки не могутъ заставить отказаться совсѣмъ отъ примѣненія для обшивки листового желѣза; во многихъ случаяхъ и въ особенности для плавучихъ затворовъ конструкція эта неизбежна. Тогда приходится позаботиться только о томъ, чтобы по возможности устранить эти недостатки, чего можно достигнуть примѣненіемъ желѣзныхъ листовъ достаточной толщины и принятіемъ особыхъ мѣръ въ тѣхъ мѣстахъ, которыя особенно подвержены дѣйствию ударовъ. Для предупрежденія появленія ржавчины полезно примѣнять оцинкованное желѣзо; новыя шлюзовые ворота въ Гаврѣ оцинкованы, заклепки же не оцинкованы; однако слѣ-

довало бы въ морскихъ сооруженіяхъ и заклепочныя головки защищать цинковой оболочкой.

Для небольшихъ шлюзовыхъ воротъ внутреннихъ водяныхъ сообщеній можно рекомендовать обшивку изъ деревянныхъ досокъ (см. § 42).

Для обезпеченія прочности воротъ съ желѣзной обшивкой можно рекомендовать примѣненіе лоткового желѣза въ тѣхъ мѣстахъ, которыя чаще подвергаются дѣйствию ударовъ. Если поставить такое желѣзо выпуклою стороною въ ту сторону, откуда чаще могутъ послѣдовать удары и назначить его той же толщины, какая соотвѣтствуетъ плоскому желѣзу, то получится большой запасъ прочности.

с) Обшивка изъ волнистаго или лотковаго желѣза.

Обшивка изъ плоскаго и балочнаго волнистаго желѣза дѣлается слѣдующимъ образомъ. При ригельной системѣ воротъ образующія волны располагаются вертикально. Длина листовъ бываетъ около 4 м. (доходитъ иногда и до 6 м.), ширина—около 0,6 м.; при такихъ размѣрахъ листовъ приходится дѣлать стыки. Соединеніе продольныхъ стыковъ лучше располагать на верху волны, чтобы заклепочныя головки не попадали на ригели; сосѣдніе листы перекрываютъ другъ друга обыкновенно въ нахлестку на 40—60 мм. Поперечные (т. е. горизонтальные) стыки дѣлаются въ притыкъ, и перекрываются накладками изъ волнистаго желѣза (черт. 78) того же калибра. Поперечныя стыки слѣдуетъ располагать по возможности ближе къ ригелямъ и на каждой сторонѣ накладки ставить по два ряда заклепокъ. На продольныхъ стыкахъ разстояніе между заклепками не должно превышать 6—8 сант. Смотря по толщинѣ волнистаго желѣза діаметръ заклепокъ назначается равнымъ отъ 8 до 10 мм. Для достиженія плотности въ стыкахъ можно примѣнить тонкія прокладки изъ шнура или холста, пропитаннаго суриковой замазкой.

Имѣя въ виду измѣненіе температуры, обшивку надо соединять съ ригелями такимъ образомъ, чтобы была возможна нѣкоторая подвижность ея; поэтому листы соединяють

заклепками не со всеми ригелями. Для того, чтобы получить водонепроницаемый затворъ, необходимо и достаточно соединить наглухо волнистое желѣзо съ самымъ нижнимъ ригелемъ, съ створнымъ и веревальнымъ столбами. Для соединенія же его съ прочими ригелями можно примѣнить скобы изъ полосового желѣза, покрытаго цинкомъ или оловомъ.

Скобы эти однимъ концомъ приклепываются къ волнистому желѣзу, а другимъ свободно захватываютъ выступы ригелей (см. черт. 78). При такомъ устройствѣ обшивка получаетъ нѣкоторую подвижность. Указанныя выше скобы прикрѣпляются къ самымъ верхнимъ или самымъ нижнимъ точкамъ волнъ; дѣлаются онѣ изъ оцинкованнаго полосового желѣза толщиной отъ 3.5 до 6 мм. и шириною 30—50 мм.; та часть ихъ, которая соприкасается съ волной, соотвѣтствующимъ образомъ изгибается (черт. 78). Каждый листъ достаточно соединить съ каждымъ ригелемъ двумя такими скобами. Для прикрѣпленія каждой скобы къ волнистому желѣзу достаточно одной заклепки діаметра 6 мм.—Соединеніе обшивки съ самымъ нижнимъ ригелемъ можетъ быть сдѣлано такъ, какъ указано на черт. 79. Конструкція эта впервые примѣнена для воротъ Oder—Spree—Kanal'a. Въ этомъ случаѣ нижній ригель дѣлается больше другихъ; къ нему прикрѣпляется соотвѣтствующей формы чугунная отливка, на которую опирается волнистое желѣзо. Для достиженія плотнаго соединенія чугунной отливки съ ригелемъ и волнистымъ желѣзомъ дѣлаются прокладки изъ полотна, пропитаннаго суриковой замазкой. Для удобства сборки ширина волны должна быть по возможности больше (120 мм. и болѣе): въ противномъ случаѣ установка болтовъ, соединяющихъ волнистое желѣзо съ чугунной отливкой, будетъ затруднительна. Нижній ригель можно дѣлать того же профиля, какъ и всѣ остальные, и прикрѣпить къ нему для волнистаго желѣза чугунную отливку въ формѣ зета (см. нижній чертежъ 79). Соединеніе волнистаго желѣза со створнымъ и веревальнымъ столбами не представляетъ никакихъ затрудненій; это можетъ быть сдѣлано какъ указано на черт. 78, т. е. часть волны разгибается и склепывается съ соотвѣтствующимъ столбомъ; положенный сверху

листъ увеличиваетъ плотность. Подобное же соединеніе применяется и около щитовыхъ затворовъ.

Если обшивка дѣлается изъ лотковаго желѣза, то остовъ воротъ долженъ быть такъ устроенъ, чтобы плиты опирались всѣми четырьмя краями; для этого между ригелями ставятся вспомогательныя стойки тавроваго сѣченія или въ видѣ рѣшетчатыхъ балокъ; въ воротахъ же стоечной системы ставятся вспомогательные ригели.

До сихъ поръ нѣтъ точнаго способа разчета лотковаго желѣза. На практикѣ же можно довольствоваться указаннымъ ниже приблизительнымъ способомъ. Согласно изслѣдованіямъ Bauschinger'a можно допустить, что разрушеніе лотковаго желѣза квадратной формы наступитъ при сосредоточенномъ грузѣ $D' = 132 \frac{f \cdot \delta}{a}$, приложенномъ въ серединѣ. По этой формулѣ, гдѣ a означаетъ длину стороны квадрата въ метрахъ, f —сторону подъема въ метрахъ, δ —толщину въ сант., нагрузка D' получается въ тоннахъ. Если коэффициентъ запаса назначить равнымъ тремъ, то на лотковое же желѣзо можно допустить сосредоточенную нагрузку

$$D = 44 \frac{f \cdot \delta}{a} \text{ тоннъ.}$$

Если верхняя сторона лотковаго желѣза расположена на глубинѣ h , то полная нагрузка для квадратной плиты при величинѣ стороны ея a будетъ

$$P = \gamma h a^2 + \gamma \frac{a}{2} a^2 = \gamma \frac{a^2}{2} (2h + a).$$

Можно допустить, что приложенный въ серединѣ сосредоточенный грузъ $\frac{p}{2}$ вызоветъ тѣ же напряженія, какъ и дѣйствительная нагрузка (для балки, свободнолежащей на двухъ опорахъ, изгибающій моментъ отъ сосредоточеннаго въ серединѣ груза $\frac{p a}{2}$ будетъ той же величины, какъ и отъ сплош-

ной равномерной нагрузки pa). Поэтому съ достаточной точностью можно положить

$$D = \frac{P}{2}, \text{ т. е. } \frac{44f}{a} \delta_{cm} = \frac{\gamma a^2}{4} (2h + a).$$

Въ правой части этой формулы измѣренія длинъ считаются въ метрахъ, γ —въ тоннахъ для cbm ; слѣдовательно $\gamma = 1 t$; тогда

$$\delta_{cm} = \frac{a^3 (2h + a)}{176f} \dots \dots \dots (48).$$

Примѣръ. Положимъ $a=1 \text{ м.}$, $f=0,07 \text{ м.}$, тогда

для	$h=2,0$	$3,0$	$4,0$	$5,0 \text{ м.}$
будетъ	$\delta = \frac{2h+1}{12,32}$, т. е. $\delta=0,4$	$0,57$	$0,73$	$0,9 \text{ см.}$

Если разность горизонтовъ воды $= h'$, то въ предѣлахъ нижняго бѣфа $P = \gamma a^2 h'$, такъ что

$$\frac{44f}{a} \delta_{cm} = \frac{\gamma a^2 h'}{2}, \quad \delta_{cm} = \frac{\gamma a^3 h'}{88f} \dots \dots \dots (49)$$

Если $h'=5 \text{ м.}$, $a=1 \text{ м.}$ $f=0,07 \text{ м.}$, то $\delta=0,8 \text{ см.}$

Верхнія плиты должны быть такой толщины, чтобы онѣ могли выдерживать удары судовъ. Сила ударовъ ни въ коемъ случаѣ не должна превосходить $D' = 132 \frac{f \cdot \delta}{a}$.

§ 43. Увеличеніе жесткости плоской обшивки. Обшивку изъ листового желѣза въ большинствѣ случаевъ приходится усиливать особыми ребрами жесткости. Продольныя оси этихъ реберъ въ воротахъ ригельной системы располагаются вертикально, а въ воротахъ стоечной системы—горизонтально. Эти ребра суть ни что иное, какъ балки высшаго порядка, которыя принимаютъ на себя дѣйствующія на обшивку усилія и передаютъ ихъ на ригели или стойки. Въ этомъ случаѣ при расчетѣ отдѣльныя части обшивки разсматриваются, какъ плоскія плиты, опирающіяся всеми четырьмя краями; толщина ихъ опредѣляется такъ, какъ указано

въ § 40. III. Расчетъ реберъ жесткости дѣлается слѣдующимъ образомъ:

а) вертикальныя ребра между горизонтальными ригелями; оба ригеля расположены выше горизонта нижняго бьефа. Положимъ разстояніе между ригелями $= b$, разстоянія между ребрами жесткости $= a$ (черт. 80); разстояніе верхняго ригеля отъ горизонта воды $= h$. На единицу длины ребра жесткости отъ каждой изъ двухъ смежныхъ плитъ на разстояніи z отъ верхней стороны ихъ передается

$$\sigma = \sigma_0 + \left(\frac{\sigma_1 - \sigma_0}{b} \right) z \quad (\text{см. стр. 131}), \text{ а всего}$$

$$2 \sigma = 2 \sigma_0 + \frac{2(\sigma_1 - \sigma_0)}{b} z$$

Полная нагрузка $P = \int_0^b 2 \sigma dz$ вызываетъ реакціи D_0 и D_1 , которыя дѣйствуютъ въ мѣстахъ соединенія реберъ съ ригелями.

$$D_0 = \frac{b}{3} (\sigma_0 + \sigma_1), \quad D_1 = \frac{2b}{3} (2\sigma_1 + \sigma_0)$$

Для сѣченія, абсцисса котораго $= z$, моментъ

$$\mathcal{M}_z = D_0 z - \sigma_0 z^2 - \frac{(\sigma_1 - \sigma_0)}{3} z^3, \quad = 20,7 - \frac{26,22}{2} - \frac{2(6-)}{6}$$

и если подставить сюда приведенное выше значеніе σ , то

$$\mathcal{M}_z = D_0 z - \sigma_0 z^2 - \frac{(\sigma_1 - \sigma_0) z^3}{3b}.$$

Наибольшая величина \mathcal{M}_z получится при z , которое опредѣлится изъ уравненія: $0 = D_0 - 2 \sigma_0 z - \frac{(\sigma_1 - \sigma_0) z^2}{b}$ т. е. при

$$z_{\max} = -\frac{\sigma_0 b}{\sigma_1 - \sigma_0} \pm \sqrt{\left(\frac{\sigma_0 b}{\sigma_1 - \sigma_0} \right)^2 - D_0 \frac{b}{\sigma_1 - \sigma_0}} = \frac{b}{\sigma_1 - \sigma_0} \left[-\sigma_0 \pm \sqrt{\sigma_0^2 + \frac{D_0(\sigma_1 - \sigma_0)}{b}} \right] \dots \dots \dots (50)$$

$$\text{и } M_{max} = D_0 z_{max} - \sigma_0 z_{max}^2 - \frac{(\sigma_1 - \sigma_0) z_{max}^3}{3b} \dots \dots \dots (51).$$

Если плита имѣетъ форму квадрата т. е. $a=b$, то согласно § 40

$$\sigma_0 = \frac{\gamma a}{16} (4h + a), \quad \sigma_1 = \frac{\gamma a}{16} (4h + 3a),$$

$$D_0 = \frac{\gamma a^2}{3 \cdot 16} (12h + 5a), \quad D_1 = \frac{\gamma a^2}{3 \cdot 16} (12h + 7a),$$

$$z_{max} = \frac{1}{2} \left[-(4h + a) \pm \sqrt{(4h + a)^2 + 8ah + \frac{10}{3}a^2} \right].$$

$$\text{Если } a = 1 \text{ м., то } z_{max} = \frac{1}{2} \left[-(4h + 1) \pm \sqrt{(4h + 1)^2 + 8h + \frac{10}{3}} \right]$$

для $h =$	1	2	3	4	5 мет.
$z_{max} =$	0,501	0,5	0,5	0,5	0,5 мет.
$M_{max} =$	114	156	219	281	344 кил.

При допускаемомъ напряженіи $750 \frac{\text{кил.}}{\text{сант.}^2}$ соотвѣтствующіе моменты сопротивленія должны быть

$$\frac{J}{a} = \quad 15,2 \quad 20,8 \quad 29,2 \quad 37,5 \quad 44,5 \text{ сант.}^3$$

б) вертикальныя ребра жесткости между ригелями; оба ригеля расположены ниже горизонта воды нижняго бьефа. Здѣсь можно предположить съ нѣкоторымъ приближеніемъ, что давленіе отъ обшивки на ребра распредѣляется равномерно по длинѣ послѣднихъ (см. § 40 III черт. 71); тогда полная нагрузка ребра отъ двухъ смежныхъ плитъ $p = 2 \frac{D_3}{b}$ и при длинѣ ребра b мет. наибольшій моментъ

$$M_{max} = \frac{p b^2}{8}$$

Силу D_3 , хотя и не совсемъ точно, можно принять рав-

$$\text{ной } \frac{\gamma h' ab}{4}; \text{ тогда } p = \frac{\gamma h' a}{2} \text{ и}$$

$$\mathfrak{M}_{\max} = \frac{\gamma h' a b^2}{16} = \frac{p b^2}{16}, \text{ где } p = \gamma h' a b \quad (52).$$

Это выраженіе будетъ тѣмъ ближе къ истинѣ, чѣмъ болѣе плита по своей формѣ приближается къ квадрату; при большой же разницѣ въ длинѣ сторонъ a и b оно будетъ уже довольно неточно.

$$\text{Если } h=5 \text{ м. } a=b=1 \text{ м. то } \mathfrak{M}_{\max} = \frac{\gamma \cdot 5}{16} = 312,5 \text{ кгм.} = 31250 \text{ кгсм.}$$

$$\text{и } \frac{J}{a} = \frac{31250}{750} = 41,7 \text{ см}^3.$$

с) *Горизонтальныя ребра жесткости между стойками.* Нагрузка по всей длинѣ ребра будетъ равномерной. Отъ нижней плиты на единицу длины ея передается σ_0 , отъ верхней— σ_1 . Если положить $p = \sigma_0 + \sigma_1$, то при ширинѣ плиты a .

$$M_{\max} = \frac{p a^2}{8}.$$

Величины σ_0 и σ_1 опредѣляются по формуламъ 33 и 34; при этомъ надо замѣтить, что значенія h для нихъ не одинаковы; при вычисленіи σ_1 значеніе h остается безъ измѣненія, а при вычисленіи σ_0 здѣсь въ соответствующую формулу вмѣсто h надо подставить $h+b$; поэтому

$$\sigma_0 = \frac{\gamma ab(3ah + 4ab + bh + b^2)}{2(a+b)(b+3a)}, \quad \sigma_1 = \frac{\gamma ab(3ah + 2ab + bh + b^2)}{2(a+b)(b+3a)}$$

$$\text{и } p = \sigma_0 + \sigma_1 = \frac{\gamma ab(3ah + 3ab + bh + b^2)}{(a+b)(b+3a)} = \frac{\gamma ab(3a+b)(b+h)}{(a+b)(3a+b)},$$

$$p = \frac{\gamma ab(b+h)}{a+b}$$

Если $h=4$ м., $a=1$ м., $b=0,6$ м., то

$$p = 1725 \text{ кг. и } \mathfrak{M}_{\max} = 215,625 \text{ кгм.}$$

d) *Устройство реберъ жесткости.* Если ребра жесткости согласно сказанному выше устанавливаются, какъ балки высшаго порядка, то при этомъ уже нѣтъ той неясности, какая часто встрѣчается въ подобнаго рода конструкціяхъ, и расчетъ можетъ дать указанія относительно того, какія слѣдуетъ назначить разстоянія между ребрами, и каковы должны быть ихъ размѣры. Въ существующихъ воротахъ разстоянія между ребрами колеблются отъ 0,4 мет. до 1,1 мет. и болѣе: при $\frac{\text{не большихъ}}{\text{большихъ}}$ разстояніяхъ между ригелями или стойками ребра ставятся на $\frac{\text{большихъ}}{\text{меньшихъ}}$ разстояніяхъ другъ отъ друга (черт. 81).

Большею частью ребра бываютъ тавроваго сѣченія; при этомъ лучше ставить тавры съ широкими полками, потому что тогда можно поставить два ряда заклепокъ; если ворота имѣютъ двѣ обшивки, то ребра послѣднихъ взаимно соединяются листовымъ желѣзомъ; въ такомъ случаѣ вмѣсто тавровъ ставятъ по два уголка, между которыми зажимается листовое желѣзо; а для того, чтобы тѣ отдѣленія, которыя по временамъ должны наполняться водою, не получались слишкомъ малыми, въ желѣзныхъ листахъ дѣлаются вырѣзы (черт. 82). Въ Англіи между ригелями ставятъ вертикальныя діафрагмы, состоящія изъ листовъ и уголковъ (черт. 83); въ этомъ случаѣ уголки образуютъ ребра жесткости. Очень часто ребра устанавливаютъ въ тѣхъ мѣстахъ, гдѣ имѣются стыки листовъ; при такомъ устройствѣ сдѣланныя выше предположенія, на которыхъ основанъ расчетъ, почти согласуются съ дѣйствительностью. Листовая накладка располагается снаружи, а тавровое желѣзо внутри (черт. 84).

Вмѣсто тавроваго желѣза иногда выгоднѣе ставить двутавровое, которое лучше сопротивляется изгибу. Такія ребра (черт. 85) поставлены въ воротахъ шлюзовъ Marne—Saone—Canal'a, здѣсь кромѣ указанныхъ реберъ поставлены еще горизонтальныя тавроваго сѣченія (черт. 86).

Въ новыхъ французскихъ воротахъ стоечной системы горизонтальныя ребра сдѣланы въ видѣ Z, которые составле-

ны изъ уголковъ и листовъ. Неудобство этой конструкции состоитъ въ томъ, что здѣсь главные оси не совпадаютъ съ направлениемъ дѣйствующихъ усилий, вѣдствие чего расчетъ нѣсколько усложняется; повидимому лучше ставить ребра сѣченія **C**, въ которомъ оба уголка располагаются съ одной стороны листа (черт. 87).

Въ нѣкоторыхъ случаяхъ при незначительномъ разстояніи ригелей или стоекъ можно обойтись и безъ реберъ жесткости, т. к. здѣсь достаточную жесткость придаютъ обшивкѣ самые стыки ея, перекрытые или въ нахлестку или особыми накладками. Подобное отсутствіе реберъ жесткости видимъ въ воротахъ шлюза около Oberlahnstein'a (черт. 76).

Ребра жесткости не только поддерживаютъ обшивку, но служатъ также и для уменьшенія свободной длины ригелей или стоекъ, принимаемой при расчетѣ послѣднихъ на продольное сжатіе. Если не ставить вспомогательныхъ реберъ жесткости, то приходится ставить чаще ригели или стойки и на всякій случай увеличивать толщину обшивки; чтобы убѣдиться, будетъ ли это выгодно въ смыслѣ затраты матеріала, надо въ каждомъ частномъ случаѣ сдѣлать сравнительный расчетъ.

Остовъ воротъ.

§ 44. Ригели. Назначеніе ригелей (franz. les entretoises. engl. the cross beams, deut. die Riegel) состоитъ томъ, чтобы принимать дѣйствующее на обшивку давленіе воды и передавать его на этѣны шлюза. Напряженія въ нихъ вызываются съ одной стороны изгибомъ, съ другой — продольнымъ сжатіемъ.

Расчетъ. Положимъ, что нагрузка на единицу длины ригеля $= p$, длина ригеля $= l$. Положимъ, что нагрузка по всей длинѣ равномерна; величина p опредѣлится по § 38 и § 40. Если имѣются вспомогательныя ребра жесткости, то слѣдуетъ принять во вниманіе также сосредоточенную нагрузку. Для расчета ригелей въ большинствѣ случаевъ достаточно принять нагрузку равной той, которая передается на часть пло-

щади давленія (черт. 64), ограниченной двумя горизонтальными линиями, дѣлящими пополамъ разстоянія между соотвѣтствующими ригелями. Если желательно сдѣлать болѣе точный расчетъ, то надо опредѣлить давленіе p на погонную единицу ригеля, рассматривая обшивку какъ неразрѣзную балку (см. § 40).

Согласно черт. 88

$$H = \frac{p l^2}{2 f} = R$$

Усилія R и H разложатся на продольную (направленную по оси ригеля) силу P и поперечную A и соотвѣтственно C . Согласно черт. 89

$$\frac{W}{2} = C \cos \alpha \quad P = H \cos \alpha = \frac{H \cdot w}{2 l} = \frac{p l w}{4 f}$$

$$B = H \sin \alpha = \frac{H \cdot f}{l} = \frac{p l}{2}$$

$$A = R \sin \alpha = \frac{p l}{2}$$

Моментъ относительно произвольнаго сѣченія, взятаго на разстояніи x отъ A , будетъ

$$M_x = \frac{p}{2} (l x - x^2);$$

Наибольшій моментъ получится по срединѣ

$$M_{\frac{l}{2}} = M_{max} = \frac{p l^2}{8}.$$

Такимъ образомъ въ данномъ случаѣ на ригель, представляющій собою длинный прямой брусъ, имѣющій двѣ опоры, дѣйствуютъ двѣ сжимающія силы P , приложенныя къ концамъ и направленные по оси его, и поперечная сила $p l$, вызывающая изгибающій моментъ M .

Если допускается одинаковое напряженіе на изгибъ и на простое сжатіе или растяженіе, то полное напряженіе должно быть

$$N = \frac{P}{\varphi \cdot F} + \frac{M}{W} < R \text{ для сжатыхъ фибръ. } \quad (53)$$

$$N = \frac{-P}{F} + \frac{M}{W} < R \text{ для вытянутыхъ фибръ. . (53')}$$

въ указанныхъ формулахъ

F означаетъ площадь netto,

φ —коэффициентъ уменьшенія напряженія для сжатыхъ частей, опредѣляемый или по таблицамъ проф. Ясинскаго или по формуламъ Шварца—Ранкина

$$\varphi = \frac{1}{1 + 0,00008 \frac{\omega}{I} l^2}.$$

$W = \frac{I}{a}$ моментъ сопротивленія, который при несимметричномъ сѣченіи будетъ различенъ для вытянутой и сжатой части.

Сѣченіе ригеля зависитъ главнымъ образомъ отъ изгибающаго момента; поэтому для большихъ воротъ не рационально примѣнять ригели постоянного сѣченія. Соответствующее измѣненіе его достигается или измѣненіемъ поясовъ, или высоты, или тѣмъ и другимъ вмѣстѣ. При этомъ изогнутая сторона воротъ и ригелей ставится въ сторону верхняго бѣефа, а прямолинейная въ сторону нижняго бѣефа. При такой конструкціи наибольшему моменту соответствуетъ наибольшая высота ригеля, а вмѣстѣ съ тѣмъ и величина моментовъ уменьшается. Положимъ, что одна сторона ригеля, обращенная въ сторону верхняго бѣефа, изогнута по дугѣ круга. Высота ригеля на концахъ $= t_0$, на серединѣ $= t_1$, (черт. 90).

На элементарную площадку, соответствующую дугѣ длиною ds , дѣйствуетъ давленіе $p ds$, которое разлагается на двѣ составляющія $p ds \cos \varphi$ и $p ds \sin \varphi$. Усиліе $p ds \sin \varphi$ уравновѣшивается такимъ же усиліемъ, приложеннымъ симметрично относительно середины. Обѣ эти силы не участвуютъ въ изгибѣ ригеля; слѣдовательно остаются только силы $p ds \cos \varphi = p dx$, которыя на разстояніи x отъ середины вызываютъ моментъ

$$M_x' = \frac{p l}{2} \left(\frac{l}{2} - x \right) - \frac{p}{2} \left(\frac{l}{2} - x \right)^2 = \frac{p}{2} \left(\frac{l^2}{4} - x^2 \right). \text{ Сюда надо}$$

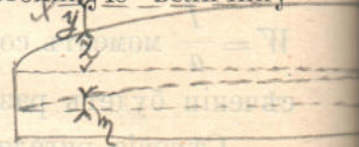
прибавить еще моментъ, вызываемый дѣйствиемъ продольной силы P . Стрѣла подъема оси ригеля $c = \frac{t_1 - t_0}{2}$; для абсциссы x , отсчитываемой отъ середины ригеля, разстояние силы P отъ оси $= \eta$ (черт. 91), такъ что моментъ ея $= -P\eta$; слѣдовательно относительно точки E полный моментъ будетъ

$$M_x = \frac{p}{2} \left[\left(\frac{l}{2} \right)^2 - x^2 \right] - P\eta.$$

Если съ небольшою погрѣшностью замѣнить теперь дугу круга дугой параболы, то, обозначая постоянную величину черезъ C , получимъ

$$x^2 = Cy$$

$$\left(\frac{l}{2} \right)^2 = C(t_1 - t_0) \text{ т. е.}$$



$$\frac{4x^2}{l^2} = \frac{y}{t_1 - t_0}, \quad y = \frac{4x^2}{l^2} (t_1 - t_0).$$

Затѣмъ $\eta = \frac{z}{2}$; $z = t_1 - t_0 - y = (t_1 - t_0) \left(\frac{l^2 - 4x^2}{l^2} \right)$; такъ что $t_1 - t_0$

$\eta = (t_1 - t_0) \left(\frac{l^2 - 4x^2}{2l^2} \right)$, слѣдовательно

$$M_x = \frac{p}{2} \left[\left(\frac{l}{2} \right)^2 - x^2 \right] - P(t_1 - t_0) \left(\frac{l^2 - 4x^2}{2l^2} \right) \dots \dots \dots (54).$$



Ригель будетъ въ самыхъ выгодныхъ условіяхъ, если для всѣхъ сѣченій его моменты равны нулю т. е. въ томъ случаѣ, когда

$$P(t_1 - t_0) \left(\frac{l^2 - 4x^2}{2l^2} \right) = \frac{p}{2} \left(\frac{l^2}{4} - x^2 \right) \text{ отсюда при } P = \frac{plw}{4f}$$

$$\frac{plw}{4f} (t_1 - t_0) \left(\frac{l^2 - 4x^2}{2l^2} \right) = \frac{p}{2} \left(\frac{l^2}{4} - x^2 \right),$$

$$\frac{t_1 - t_0}{l} = \frac{f}{w} \dots \dots \dots (55).$$

Если при $\frac{f}{w} = \frac{1}{5}$ назначить $(t_1 - t_0) = \frac{l}{5}$, то напряже-

$$\frac{f}{w} = \frac{1}{5}; \quad f = \frac{w}{2} \lg 2; \quad \lg 2 = \frac{24}{w} = \frac{2}{5} = 0,4; \quad \alpha = 22^\circ$$

нія въ ригелѣ будутъ вызваны только одной продольной силой P . Высоту ригеля t_0 на концахъ слѣдуетъ назначать, сообразуясь съ сѣченіемъ створнаго и верейльнаго столба.—

Предѣльную величину $\frac{t_1 - t_0}{l} = \frac{f}{w}$ примѣнять на практикѣ не слѣдуетъ, потому что ригели при этомъ получаются слишкомъ изогнутыми, тогда какъ все выше приведенныя формулы выведены для пологой кривой; кромѣ того устройство нишъ въ стѣнахъ для помѣщенія открытыхъ воротъ становится крайне неудобнымъ. Однако все вышеизложенное показываетъ, что ригелямъ выгодно придавать полупараболическую форму.

Въ серединѣ ригеля будетъ моментъ

$$M_{\frac{l}{2}} = \frac{p l^2}{8} - P \frac{(t_1 - t_0)}{2} = \frac{p l}{8} \left[l - \frac{w(t_1 - t_0)}{f} \right].$$

Для $x = +\frac{l}{2}$ и $x = -\frac{l}{2}$ будетъ $M = 0$.

Наибольшее напряженіе опредѣляется по формулѣ (53), куда вмѣсто P надо подставить $\frac{p l w}{4f}$ и вмѣсто M для среднего сѣченія найденное выше $M_{\frac{l}{2}}$.

При расчетѣ удобнѣе опредѣлить сѣченіе сначала только по моменту, а потомъ уже проверить его по формулѣ (53) или (53').

Поперечное сѣченіе ригеля. Ригели дѣлаются или изъ прокатныхъ балокъ или изъ листовъ и уголковъ.

а) Ригели изъ прокатныхъ балокъ обыкновенно имѣютъ въ сѣченіи форму **C** или **I**; сѣченіе это остается постояннымъ по всей длинѣ. Ставить ригели различной высоты на различной глубинѣ неудобно, поэтому часто все ригели дѣлаются одного сѣченія, а для того, чтобы съ большею выгодною использовать затраченный матеріалъ, назначаютъ разстоянія между ригелями внизу менѣе, чѣмъ вверху. Ширина полокъ двутавровыхъ балокъ малаго калибра бываетъ недостаточна

для того, чтобы поставить заклепки въ два ряда; въ такихъ случаяхъ удобнѣе назначать ригели С-образнаго сѣченія и ставить одинъ рядъ заклепокъ. Въ тѣхъ же мѣстахъ, гдѣ располагаются стыки листовъ обшивки, предпочитаютъ ставить ригели, склепанные изъ листовъ и четырехъ уголковъ.

Ригели небольшихъ плоскихъ воротъ рекомендуется дѣлать изъ прокатныхъ балокъ: они выгодны въ смыслѣ количества затраченнаго матеріала, и соединеніе ихъ съ створнымъ и веревальнымъ столбами очень просто и удобно. Отношеніе высоты ригеля къ длинѣ его въ существующихъ воротахъ колеблется отъ $\frac{1}{8}$ до $\frac{1}{15}$.

б) Склепанные ригели въ поперечномъ сѣченіи имѣютъ форму обыкновенныхъ склепанныхъ балокъ; стѣнка въ этомъ случаѣ располагается горизонтально, а пояса—вертикально (черт. 81 и 83).

Высота такихъ ригелей (измѣряемая въ данномъ случаѣ горизонтально) или остается постоянной или увеличивается къ серединѣ. Выше было доказано, что ригели постоянной высоты для широкихъ воротъ не выгодны.

Высоту ригеля по концамъ t_0 назначаютъ съ такимъ расчетомъ, чтобы соединеніе его со створнымъ и веревальнымъ столбами было удобно. Большею частью эта высота t_0 равняется высотѣ поперечнаго сѣченія столбовъ. Для увеличенія высоты къ серединѣ ригелю придаютъ въ планѣ форму трапеціи или же одинъ поясъ его, обращенный въ сторону верхняго бѣефа, изгибаютъ по дугѣ круга или параболы, а другой оставляютъ прямолинейнымъ. Типы такихъ ригелей указаны на чертежахъ 74, 75, 78, 81, 82, 83, 85 и 90.

Въ исключительныхъ случаяхъ дѣлаютъ ригели и рѣшетчатые. Толщина сплошной стѣнки ригелей бываетъ отъ 5 мм. до 15 и даже болѣе. Въ виду возможной ржавчины не слѣдуетъ дѣлать ее тоньше 6 мм. Поясные уголки бываютъ размѣрами $60 \times 60 \times 8$ до $100 \times 100 \times 10$ мм. и болѣе (черт. 92).

§ 45. Нижній рамный брусъ. По всей своей длинѣ соприкасается съ порогомъ; слѣдовательно вовсе не подверженъ

изгибу подъ напоромъ воды, такъ что его можно дѣлать болѣе слабымъ по сравненію съ прочими ригелями. Назначеніе его состоитъ главнымъ образомъ въ томъ, чтобы сдѣлать створъ въ плоскости короля водонепроницаемымъ и ослаблять силу удара при закрываніи воротъ.

Водонепроницаемость достигается почти исключительно примѣненіемъ деревянныхъ досокъ или брусковъ, которые прикрѣпляются къ нижнему рамному брусу и прилегаютъ къ королю. Для этой цѣли примѣняютъ большею частью дубъ. По мнѣнію Франціуса дубъ оказываетъ вредное вліяніе на желѣзо своей дубильной кислотой; для достиженія большей плотности между желѣзомъ и деревомъ прокладываютъ просмоленный войлокъ. Для предохраненія желѣзныхъ частей отъ ржавчины подъ дерево кладутъ также тонкій (6 мм.) желѣзный листъ. Деревянные бруски или доски обыкновенно прямо упираются въ король. Въ воротахъ гавани St. Nazaire для увеличенія плотности на король наложенъ каучукъ; цѣлесообразность этого еще не доказана опытомъ. Деревянные части прикрѣпляются къ нижнему рамному брусу при помощи болтовъ діаметра 20—25 мм.; головка этихъ болтовъ должна быть втоплена въ дерево (черт. 93, 95, 96). При этомъ надо стараться достигнуть такой передачи усилій, чтобы нижній рамный брусъ не былъ подверженъ скручивающему моменту; для этого ось его и ось деревяннаго бруса должны находиться въ одной горизонтальной плоскости. Конструкцій, указанныхъ на черт. 94 и 97 нельзя рекомендовать; примѣненіе ихъ въ существующихъ воротахъ вызвано желаніемъ устранить соприкосновеніе дерева съ обшивкой (черт. 93). Конструкція, указанная на черт. 98, имѣетъ тотъ недостатокъ, что внутреннее пространство коробки, расположенной подъ воротами, не доступно, и сборка въ данномъ случаѣ очень затруднительна. Удобнѣе примѣнять конструкцію, показанную на черт. 94.

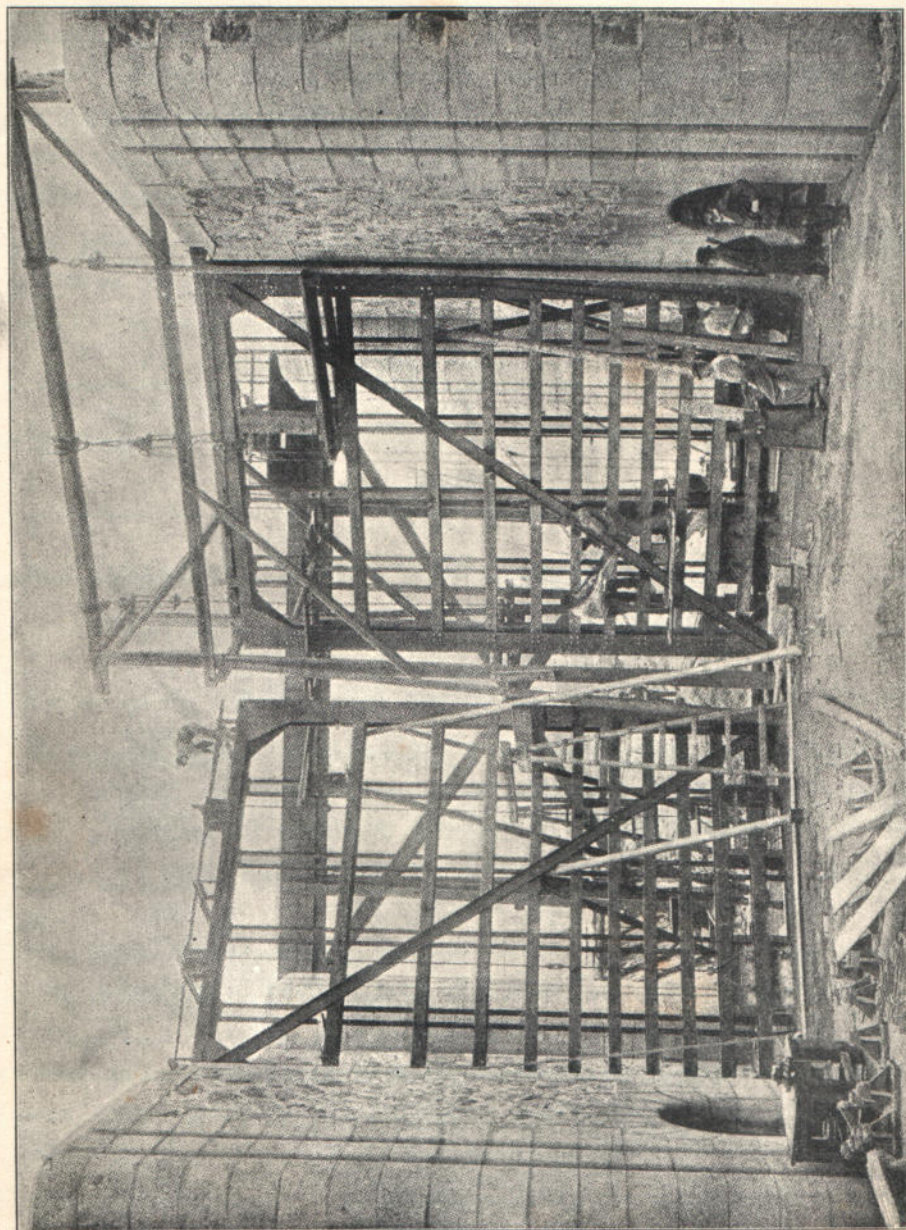
✓ Для указанной выше цѣли примѣняются доски толщиною отъ 5 сант., лучше 8—13 сант., и шириною 15—20 сант.; для большихъ шлюзовъ лучше примѣнять брусья размѣрами отъ 20×20 до 25×25 сант. Въ тѣхъ мѣстахъ, гдѣ встрѣчается пашень, для предохраненія слѣдуетъ обивать дерево гвоздями.

Иногда въ такихъ случаяхъ дерево замѣняютъ желѣзными рейками.

§ 46. Верхній рамный брусъ и служебный мостикъ.
Въ большинствѣ воротъ старой конструкціи на верхній рамный брусъ передаются незначительныя усилія; отъ прочихъ ригелей этотъ брусъ отличается только тѣмъ, что на немъ устраивается служебный мостикъ и прикрѣпляется механизмъ для затворовъ. При большой толщинѣ воротъ, напр., при плавающихъ затворахъ ширина служебнаго мостика почти равняется ширинѣ верхняго рамнаго бруса; въ противномъ случаѣ этотъ мостикъ устраивается на консоляхъ. Ширину его дѣлаютъ ровной отъ 0,5 до 1,35 м. Перила ставятся съ одной только стороны, а иногда и съ двухъ (черт. 99). Въ виду того, что временная нагрузка мостика бываетъ ничтожна (въ нѣсколькихъ рабочихъ), консоли и соответствующія опоры бываютъ очень слабаго сѣченія; разстояніе между ними дѣлается равнымъ отъ 60 до 120 сант. иногда и болѣе. Настилъ состоитъ изъ досокъ толщиною 5—8 сант. На черт. 99 и до 104 показана конструкція верхняго рамнаго бруса и служебнаго мостика.

Верхніе рамные брусъ имѣютъ большее значеніе въ воротахъ новой конструкціи, гдѣ ригели замѣнены вертикальными стойками. Последнія весь напоръ воды передаютъ на верхній и нижній рамный брусъ. Последний по всей длинѣ опирается на король и такимъ образомъ, не подвергаясь изгибу, прямо передаетъ все усиліе на кладку.

Для того, чтобы получить вполне опредѣленную передачу силъ, рекомендуется ставить особыя подушки на обоихъ концахъ верхняго рамнаго бруса т. е. на створномъ столбѣ и въ углахъ шкафовъ; благодаря такому устройству верхній брусъ работаетъ какъ трехшарнирная арка. Если бы не надо было заботиться о водонепроницаемости въ плоскости соприкасання створныхъ столбовъ, то средній шарниръ можно было бы поставить только въ томъ мѣстѣ, гдѣ соприкасаются концы верхнихъ рамныхъ брусевъ; тогда распоръ передавался бы



Сборка и установка желѣзныхъ ригельныхъ воротъ.

только черезъ этотъ шарниръ, и дѣйствующія усилія легко опредѣлились бы по законамъ статики. Въ дѣйствительности же ради водонепроницаемости створные столбы должны соприкасаться по всей своей длинѣ. Расчетъ верхняго бруса при такой конструкціи дѣлается согласно тому, что сказано въ § 44. Силы, дѣйствующія на него, равны реакціямъ А опоръ стоекъ и опредѣляются по § 49; величина ихъ зависитъ отъ глубины верхняго и нижняго бѣфовъ т. е. отъ формы площади давленія. Если разстоянія между стойками $= a$, и верхній рамный брусъ совпадаетъ съ поверхностью воды верхняго бѣфа, то согласно черт. 56

$$A = \frac{\gamma}{2} (h_1^2 - e^2) \frac{x_0 \cdot a}{h_1},$$

и если $e=0$, то

$$A' = \frac{\gamma a}{6} h_1^2,$$

поэтому нагрузка на 1 пог. мет. верхняго бруса

$$p_A = \frac{\gamma (h_1^2 - e_1^2) x_0}{2 h_1}, \quad p' = \frac{\gamma h_1^2}{6}.$$

Передача усилій только на рамные брусъя представляетъ много выгодъ: прежде всего, при этомъ расчетъ проще и точнѣе, а потому и затрата матеріала будетъ меньше, т. к. нѣтъ надобности назначать съ большимъ запасомъ сѣченія элементовъ, что необходимо дѣлать при неточномъ расчетѣ; затѣмъ, при небольшомъ числѣ элементовъ болѣе сильнаго сѣченія матеріалъ (сталь или желѣзо) лучше утилизируется, чѣмъ при большомъ количествѣ слабыхъ элементовъ, потому что послѣдніе ради конструктивныхъ соображеній приходится часто дѣлать значительно сильнѣе, чѣмъ требуется по расчету; увеличеніе площади необходимаго сѣченія элементовъ на ослабленіе заклепокъ въ данномъ случаѣ значительно меньше, и наконецъ весьма важное преимущество этой конструкціи состоитъ въ томъ, что обоемъ верхнимъ брусъямъ можно придать наивыгоднѣйшую форму, пользуясь резуль-

татами изслѣдованій § 44, т. е. назначить ось ихъ криволинейной съ такимъ расчетомъ, что во всѣхъ сѣченіяхъ моменты будутъ равны нулю. Для этого грань рамныхъ брусевъ, расположенную со стороны нижняго бѣефа дѣлають прямолинейной, а другую назначаютъ по дугѣ параболы при $\frac{t_1 - t_0}{l} = \frac{f}{w}$. Если остовъ воротъ сдѣлать изъ нѣсколькихъ ригелей и всѣмъ имъ придать такую форму, то пришлось бы сдѣлать слишкомъ глубокіе шкафы и такимъ образомъ сильно ослаблять стѣны шлюза. Совсѣмъ другое получается при воротахъ, остовъ которыхъ состоитъ изъ стоекъ, опирающихся на верхніе и нижніе рамные брусья, потому что самыя ворота при этомъ можно сдѣлать сравнительно тонкими, а верхнему ригелю можно придать значительную высоту въ серединѣ, такъ чтобы онъ нѣсколько свѣшивался надъ воротами со стороны верхняго бѣефа. Глубина шкафа при этомъ будетъ увеличиваться только въ верхней части стѣны, такъ что ослабленіе послѣдней будетъ ничтожно.

На черт. 105 представлены подобныя ворота; здѣсь $\frac{t_1 - t_0}{l}$ не равняется точно $\frac{f}{w}$, а потому будутъ незначительныя дополнительныя напряженія и отъ изгиба. Напоръ воды при указанной здѣсь конструкціи передается на стойки перваго и втораго порядка, причемъ отъ послѣднихъ усиліе переходитъ на горизонтальныя вспомоgetельныя балочки, которыя однако нельзя разсматривать, какъ ригели, потому что въ шкафахъ для нихъ нѣтъ надлежащихъ опоръ. Назначеніе ихъ состоитъ въ томъ, чтобы передавать соотвѣтствующую часть напора воды на стойки I порядка; послѣднія же всю нагрузку распределяють между верхними и нижними рамными брусьями. Пяти среднимъ стойкамъ соотвѣтствуютъ пять реберъ жесткости верхняго ригеля. Надо замѣтить, что въ данномъ случаѣ не смотря на полупараболическую форму верхняго бруса вполнѣ выполнено предположеніе, сдѣланное выше въ § 44 и состоящее въ томъ, что силы передаются нормально королю. Наконецъ удобство этой конструкціи заключается и

въ томъ, что наиболѣе напряженныя части верхняго ригеля легко доступны для осмотра.

Въ новыхъ воротахъ для шлюзовъ въ Гаврѣ оба верхніе ригеля сдѣланы въ видѣ балокъ со сплошной стѣнкой, высота послѣднихъ равна толщинѣ воротъ (черт. 99); на обоихъ концахъ ихъ прикрѣплены опорныя подушки. На черт. 106 представлена подушка для веревальнаго столба, а на черт. 107— для конца створнаго столба. При этомъ створные столбы конечно соприкасаются по всей высотѣ воротъ, такъ что усиліе передается не только на верхній ригель. Плоскости соприкасания подушекъ, играющихъ роль среднего шарнира, здѣсь довольно велики, такъ что точка приложенія дѣйствующаго здѣсь усилія не вполне извѣстна. По этому слѣдовало бы дѣлать эти шарниры такъ же, какъ для арочныхъ мостовъ. Подобная подушка поставлена по проекту Brenneske въ шлюзахъ Nord—See—Kanal (см. черт. 108). Подушки, прикрѣпленные въ створѣ къ верхнимъ ригелямъ, соприкасаются по плоскости. Обратная сторона одной подушки представляетъ часть поверхности шара, такъ что при открытіи и закрытіи воротъ подушка эта нѣсколько перемѣщается, а потомъ сильными пружинами опять приводится въ свое нормальное положеніе. Для того, чтобы распредѣленіе дѣйствующихъ усилій было вполне ясно, сжимающее усиліе должно бы передаваться на створный столбъ только въ двухъ точкахъ, именно на подушки, прикрѣпленные къ верхнему ригелю и около порога. Brenneske рекомендуетъ прикрѣплять деревянные брусья къ створнымъ столбамъ не наглухо, а съ нѣкоторымъ зазоромъ, и въ зазоръ этотъ помѣщать упругія прокладки (напримѣръ каучуковыя цилиндрическія шайбы.

§ 47. Количество матеріала въ ригеляхъ. Для того, чтобы можно было судить о выгодности извѣстной конструкціи воротъ, надо знать теоретическій вѣсъ ригелей. Положимъ сначала, что ось ригеля прямолинейна и проходитъ черезъ середину высоты его. Нагрузка на пог. единицу ригеля $= p$, продольная сила, параллельная порогу, $= P$ и совпадаетъ съ

осью ригеля. Для произвольнаго сѣченія, взятаго на разстояніи x отъ веряльнаго столба,

$$M_x = \frac{p}{2}(lx - x^2).$$

Если бы продольной силы вовсе не было, то необходимое сѣченіе ригеля зависѣло бы исключительно только отъ M_x ; въ данномъ случаѣ для рѣшенія заданнаго вопроса съ достаточной точностью можно положить, что необходимая площадь поперечнаго сѣченія

$$\varphi_x = \rho M_x$$

гдѣ ρ есть величина, зависящая отъ формы сѣченія и допускаемаго напряженія; для однихъ и тѣхъ же воротъ величину эту можно считать постоянной. Объемъ всего ригеля

$$\frac{M_x \cdot l^2}{2 \cdot d h^3} = \frac{6 M}{a h^2} = \frac{6 M}{\omega h} \quad v = \int_0^l \rho M_x dx = \rho \frac{p l^3}{12}.$$

На всѣ ригели вмѣстѣ дѣйствуетъ нагрузка $\Sigma(p)$. Для упрощенія можно принять высоту воротъ равной глубинѣ верхняго бѣфа, такъ что $\Sigma(p) = \frac{\gamma h^2}{2}$. Тогда теоретическій объемъ всѣхъ ригелей для одного полотна

$$\Sigma(v) = \rho \frac{\gamma h^2 l^3}{24} \dots \dots \dots (56).$$

Въ воротахъ небольшой ширины ригели по всей длинѣ бываютъ постояннаго сѣченія. Тогда объемъ всѣхъ ригелей

$$\Sigma(v') = \frac{\rho p l^2}{8} l = \frac{\rho \gamma h^2 l^3}{16} \dots \dots \dots (57).$$

Въ дѣйствительности же кромѣ изгибающихъ моментовъ на ригели дѣйствуютъ и продольныя силы P . Если пренебрегать моментомъ, вызваннымъ дѣйствіемъ этой силы на плечо, равное стрѣлѣ прогиба отъ нагрузки pl , то дополнительное напряженіе въ ригелѣ отъ продольнаго сжатія $N_1 = \frac{P}{F}$.
На черт. 109 линія 22¹ представляетъ распредѣленіе напря-

жений отъ изгиба и продольнаго сжатія; Линія 11¹ указываетъ законъ измѣненія напряженій отъ M_x , отръзки 12 и 1' 2' представляютъ напряженія отъ продольнаго сжатія. Наибольшее напряженіе на сжатіе представлено отръзкомъ 02, наибольшее напряженіе на растяженіе—отръзкомъ 0' 2'. Уменьшеніе напряженія на вытянутой сторонѣ не влечетъ за собою уменьшенія матеріала. Для наиболѣе опаснаго сѣченія при допускаемомъ напряженіи K должно быть $K \leq M \frac{a}{J} + \frac{P}{F\varphi}$ (см. форм. 53).

Для того, чтобы можно было воспользоваться формулами 56 и 57, вмѣсто дѣйствительнаго момента M надо подставить M' , который вызывалъ бы тоже наибольшее напряженіе на сжатіе, какъ и дѣйствительныя силы. Значеніе момента M' получится изъ уравненія

$$M' \frac{a}{J} = M \frac{a}{J} + \frac{P}{F\varphi}, \quad \text{отсюда} \quad M' = M + \frac{P}{F\varphi} \frac{J}{a}.$$

Если ввести въ расчетъ этотъ моментъ, то

$$\varphi_x = \rho M + \rho \frac{P}{F\varphi} \frac{J}{a}$$

$$v = \frac{\rho p l^3}{12} + \rho \frac{P}{F\varphi} \frac{J}{a} l, \quad \text{а такъ какъ} \quad P = \frac{p l w}{4f} \quad (\S 44), \quad \text{то}$$

$$v = \frac{\rho p l^2}{12} \left(l + \frac{3 J w}{f \varphi F a} \right).$$

Объемъ всѣхъ ригелей

$$\Sigma (v) = \frac{\rho \gamma h^2 l^2}{24} \left[l + \frac{3 w}{F \varphi f} \left(\frac{J}{a} \right) \right] \dots \dots \dots (58).$$

Если всѣ ригели постояннаго сѣченія, то

$$\Sigma (v') = \frac{\rho \gamma h^2 l^2}{16} \left[l + \frac{2 w}{F \varphi f} \left(\frac{J}{a} \right) \right] *) \dots \dots \dots (59).$$

На практикѣ объемъ ригелей всегда получается больше указаннаго.

*) Проф. Landsberg не принимаетъ во вниманіе уменьшенія допускаемаго напряженія на случай продольнаго изгиба, а потому въ своемъ сочиненіи „Die eisernen stemmthore der Schiffsschleusen“ онъ приводитъ на стр. 60 для опредѣленія теоретическаго объема ригелей формулы, въ которыхъ коэффициентъ φ отсутствуетъ.

Объемъ ригелей можно уменьшить, если заставить продольную силу проходить эксцентрично ближе къ тому ребру, въ которомъ изгибающіе моменты вызываютъ растяженіе (черт. 110). Если эксцентриситетъ $= e$, то для любого сѣченія

$$M_x = \frac{p}{2}(lx - x^2) - Pe.$$

Наибольшее напряженіе въ этомъ сѣченіи по формулѣ Навье

$$N_{max} = M_x \frac{a}{J} + \frac{P}{F} = \left[\frac{p}{2}(lx - x^2) - Pe \right] \frac{a}{J} + \frac{P}{F}.$$

Если напряженіе отъ продольнаго сжатія и продольнаго изгиба равны, т. е.

$$\frac{P}{F} - \frac{Pe a}{J} = 0, \text{ то } e = \frac{J}{Fa}.$$

При такомъ эксцентриситетѣ, пренебрегая моментомъ, вызываемымъ дѣйствіемъ продольной силы на стрѣлу прогиба отъ нагрузки pl , получимъ напряженія той же величины, какъ и отъ одного момента $\frac{p}{2}(lx - x^2)$, т. е. какъ будто бы продольной силы вовсе и не было. Полученная величина эксцентриситета $e = \frac{J}{Fa}$ есть ничто иное, какъ разстояніе крайней точки ядра сѣченія отъ оси бруса. Извѣстно, что отъ продольной силы, приложенной на разстояніи $\frac{J}{Fa}$ отъ оси бруса, въ ребрѣ, расположенномъ по другую сторону оси, напряженія равны нулю. Слѣдовательно можно считать доказаннымъ, что

въ ригель, опирающемся въ створный и веревальный столбы крайними точками ядра сѣченія, расположенными со стороны верхняго бѣеда, напряженія определяются только по моменту $\frac{p}{2}(lx - x^2)$.

Такое соединеніе ригеля съ створнымъ и веревальнымъ столбами легко сдѣлать, если сѣченіе ригеля по всей длинѣ

остается постояннымъ; труднѣе достигнуть этого при перемѣнномъ сѣченіи; а такъ какъ при этомъ разстояніе крайнихъ точекъ ядра сѣченія отъ оси измѣняется сравнительно немного, то и здѣсь можно достигнуть почти того же результата.

Выше предполагалось, что напряженіе на сжатіе по абсолютной величинѣ больше напряженія на растяженіе. Величина послѣдняго

$$N_{\text{max. раст.}} = \frac{p}{2} (lx - x^2) \frac{a}{J} - P e \frac{a}{J} - \frac{P}{\varphi F} \text{ при } e = \frac{J}{\varphi F a}$$

$$N_{\text{max. раст.}} = \frac{p}{2} (lx - x^2) \frac{a}{J} - 2 \frac{P}{\varphi F} = N_{\text{max. сжат.}} - \frac{2P}{\varphi F}.$$

Слѣдовательно указанное предположеніе всегда выполнено. (Въ послѣднее выраженіе $N_{\text{max. сжат.}}$ надо подставить не обращая вниманіе на знакъ).

Изъ всего вышеизложеннаго слѣдуетъ, что при извѣстной конструкціи объемъ ригелей зависитъ только отъ момента $\frac{p}{2} (lx - x^2)$. Слѣдовательно по формуламъ (56) и (57) теоретическій объемъ ригелей

$$\Sigma (v) = \frac{\rho \gamma h^2 l^3}{24} \text{ и } \Sigma (v') = \frac{\rho \gamma h^2 l^3}{16}.$$

§ 48. Сравненіе ригельныхъ и стоечныхъ воротъ. Попробуемъ опредѣлить, когда выгоднѣе примѣнять ворота ригельной или стоечной системы. Для этого достаточно сравнить ихъ теоретическіе объемы, при этомъ объемы створныхъ и веревальныхъ столбовъ можно и не принимать во вниманіе.

Въ ригельныхъ воротахъ объемъ всѣхъ ригелей

напрямъ отъ $\mathfrak{B}_1 = \frac{\rho \gamma h^2 l^3}{24} \dots \dots \dots (60),$

если они такъ устроены, что точки опоръ ихъ даютъ наиблагоднѣйшій эксцентриситетъ.

Теперь опредѣлимъ объемъ стоекъ въ воротахъ стоечнаго типа. Согласно § 47, находимъ, что для единицы ширины воротъ (черт. 111)

$$A = \frac{\gamma h^2}{6} \quad B = \frac{\gamma h^2}{3}$$

Для сѣченія C , взятаго на глубинѣ y ,

$$M_y = Ay - \frac{\gamma y^3}{6} = \frac{\gamma h^2 y}{6} - \frac{\gamma y^3}{6} = \frac{\gamma}{6} (h^2 y - y^3)$$

Теоретическая площадь сѣченія здѣсь должна быть $\varphi_y = \rho M_y$, и теоретическій объемъ стойки

все стоекъ имеютъ одинаковы сѣченія во всемъ

$$v = \int_0^h \varphi_y dy = \rho \int_0^h M_y dy = \frac{\gamma \rho h^4}{24}$$

При ширинѣ воротъ l мет. теоретическій объемъ всѣхъ стоекъ

$$V_1 = \frac{\gamma l \rho h^4}{24}$$

Сюда надо прибавить еще объемы верхняго и нижняго рамнаго бруса. Послѣдній обыкновенно бываетъ очень слабаго сѣченія по сраненію съ первымъ, потому что онъ опирается по всей длинѣ въ порогъ, вслѣдствіе этого для сравненія объемовъ матеріала воротъ различной конструкціи нижняго ригеля можно и не принимать во вниманіе. Нагрузка на единицу длины верхняго ригеля $p = \frac{\gamma h^2}{6}$.

Если и здѣсь точки опоръ будутъ эксцентричны и совпадутъ съ крайними точками ядра сѣченія, то усилие P не будетъ входить въ формулу объема; тогда

$$dv = \varphi_x dx = \rho M_x dx = \rho \frac{p}{2} (lx - x^2) dx,$$

и теоретическій объемъ этого ригеля

$$V_2 = \frac{\rho p l^3}{12}; \text{ а такъ какъ } p = \frac{\gamma h^2}{6}, \text{ то}$$

$$V_2 = \frac{\gamma \rho h^2 l^3}{72}.$$

Общій объемъ стоекъ и верхняго ригеля

$$B_2 = V_1 + V_2 = \frac{\gamma \rho h^2 l}{24} \left(h^2 + \frac{l^2}{3} \right) \quad (61).$$

$B_1 = \frac{85 h^2 l^3}{24}$
 B_1 будетъ больше B_2 , если $l^2 > h^2 + \frac{l^2}{3}$, т. е. если $l^2 > 1,5 h^2$

$$\left(\frac{l}{h} \right)^2 > 1,5; \quad \frac{l}{h} > 1,225; \quad l > 1,225 h.$$

Слѣдовательно въ тѣхъ случаяхъ, когда $l > 1,225 h$, на ригельныя ворота приходится затрачивать матеріала больше, чѣмъ на стоечныя ворота, такъ что послѣднія будутъ выгоднѣе.

Пожалуй можно подумать, что при сравненіи ригельныя ворота разсматривались въ болѣе выгодныхъ условіяхъ, такъ какъ въ объемъ ихъ включенъ и объемъ нижняго ригеля, тогда какъ въ объемъ стоечныхъ воротъ послѣдній вовсе не входитъ; но это вполне правильно, потому что при устройствѣ воротъ, остовъ которыхъ состоитъ изъ ригелей, принимающихъ на себя весь напоръ воды, не всегда можно рассчитывать на плотное прилеганіе къ порогу нижняго рамнаго бруса, такъ что послѣдній долженъ быть въ состояніи выдерживать все приходящееся на него давленіе. Какъ сказано было ранѣе, на практикѣ стоечныя ворота представляютъ нѣкоторую выгоду: въ нихъ дѣйствующее усиліе передается на одинъ ригель сильнаго сѣченія, тогда какъ въ ригельныхъ воротахъ то же усиліе воспринимается нѣсколькими элементами болѣе слабаго сѣченія, поэтому въ первомъ случаѣ при рациональной конструкціи объемъ затраченнаго матеріала будетъ меньше отличаться отъ теоретическаго, чѣмъ во второмъ. Кромѣ того верхнему ригелю стоечныхъ воротъ можно придать болѣе рациональную форму (см. § 46).

§ 49. Стойки. Ворота стоечной системы стали примѣняться недавно. Въ нихъ дѣйствующій на обшивку напоръ воды передается на стойки или непосредственно, или при помощи цѣлой сѣти вспомогательныхъ горизонтальныхъ и вертикальныхъ балочекъ; въ первомъ случаѣ приходится ста-

вить стойки на меньшемъ разстояніи, чѣмъ во второмъ. Такъ въ Гаврѣ въ воротахъ шлюзовъ для морскихъ пароходовъ разстояніе между стойками равно 1,443 м., обшивка для большей жесткости усилена Z-образными балочками; на каналѣ же Havre-Tancarville въ шлюзовыхъ воротахъ стойки поставлены на разстояніи 2,45 м. другъ отъ друга, соединены при томъ тремя горизонтальными балками, на которыя давление воды передается черезъ стойки второго порядка.

При расчетѣ стоекъ нагрузка принимается или сплошной, распределенной по известному закону, который выражается треугольникомъ или трапеціей давленія, или сосредоточенной въ мѣстахъ прикрѣпленія продольныхъ вспомогательныхъ балочекъ. Какъ въ томъ, такъ и въ другомъ случаѣ расчетъ не представляетъ затрудній. Для общаго изслѣдованія достаточно разсмотрѣть первый случай.

Высота верхняго рамнаго бруса, который для упрощенія предполагается на уровнѣ воды верхняго бьефа, надъ точкой (B) опоры стойки въ порогъ $= h_1$, разстояніе отъ горизонта нижняго бьефа до той же точки B равно e , разность горизонтовъ воды $h_1 - e = h_2$, разстояніе между стойками $= b$, тогда для одной стойки (черт. 112)

$$A = \frac{b \gamma}{6 h_1} (h_1^3 - e^3),$$

$$B = \frac{b \gamma}{6 h_1} (2 h_1^3 - 3 h_1 e^2 + e^3).$$

Опредѣлимъ моменты для участковъ AC и CB .

Участокъ AC . Для сѣченія, взятаго на глубинѣ y , моментъ

$$M_y = Ay - \frac{\gamma b y^3}{6}.$$

Изъ уравненія $0 = A - \frac{\gamma b y^2}{2}$ находимъ, что максим. M будетъ для

$$y_{max} = \sqrt{\frac{2A}{\gamma b}} = \sqrt{\frac{h_1^3 - e^3}{3 h_1}}.$$

При $e = 0$, т. е. при самомъ не выгодномъ загрузеніи,
 $y_{max} = \frac{h_1}{\sqrt{3}} = 0,578 h_1$ и $M_{max} = 0,064 b \cdot \gamma \cdot h_1^3$.

Если получится $y_{max} = h_2$, то наибольшее значеніе M_y будетъ для сѣченія C . Если же $y_{max} < h_2$, то наибольшій моментъ будетъ въ сѣченіи, расположенномъ между A и C .

$y_{max} \leq h_2$ будетъ въ томъ случаѣ, если $\sqrt{\frac{h_1^3 - e^3}{3 h_1}} \leq h_2$, или при $h_2 = h_1 - e$.

$$2 h_1^3 - 6 h_1^2 e + 3 h_1 e^2 + e^3 \geq 0$$

$$2 \left(\frac{h_1}{e} \right)^3 - 6 \left(\frac{h_1}{e} \right)^2 + 3 \left(\frac{h_1}{e} \right) + 1 \geq 0.$$

Полагая $\frac{h_1}{e} = x$, изъ уравненія $2x^3 - 6x^2 + 3x + 1 \geq 0$ находимъ $x \geq 2,22$ или $h_1 \geq 2,22 e$.

Слѣдовательно, если $h_1 > 2,22 e$, наибольшій моментъ будетъ въ сѣченіи, расположенномъ гдѣ нибудь между A и C .

$$M_{max} = \frac{b \gamma}{9 h_1} (h_1^3 - e^3) \sqrt{\frac{h_1^3 - e^3}{3 h_1}} \quad \text{при } e=0 \quad M_{max} = \frac{b \gamma h_1^3}{9 \sqrt{3}}$$

Участокъ CB . Для сѣченія, взятаго на высотѣ z надъ порогомъ B ,

$$M_z = Bz - \frac{b \gamma h_2 z^2}{2}.$$

Изъ уравненія $0 = B - b \gamma h_2 z$ находимъ, что *Max. M* будетъ при

$$z_{max} = \frac{B}{\gamma h_2 b} = \frac{B}{\gamma b (h_1 - e)} = \frac{2 h_1^3 - 3 h_1 e^2 + e^3}{6 h_1^2 - 6 h_1 e}$$

При томъ, если z_{max} получится $\leq e$, т. е. $\frac{2 h_1^3 - 3 h_1 e^2 + e^3}{6 h_1^2 - 6 h_1 e} \leq e$ или если $h_1 \leq 2,22 e$ наибольшій моментъ будетъ на участкѣ BC . Подставляя значеніе z_{max} въ выраженіе для M_z , на-

ходимъ, что на участкѣ CB наибольшій моментъ $M_{max} = \frac{B^2}{2\gamma b(h_1 - e)}$.

Если же $h_1 = 2,22e$, то наибольшіе моменты для обоихъ участковъ очевидно равны по величинѣ и получаются въ сѣченіи, проведенномъ черезъ C .

Такимъ образомъ, если $h_1 > 2,22e$ то макс. M_y получится на участкѣ AC , а макс. M_z не на участкѣ BC , а выше C .

Если $h_1 < 2,22e$, то макс. M_y получится ниже C , а макс. M_z на участкѣ BC т. е. въ обоихъ случаяхъ ниже C .

Пользуясь этимъ правиломъ легко опредѣлить наибольшій моментъ.

Если вычертить кривыя моментовъ для обоихъ участковъ, то для точки C тангенсъ касательной, проведенной къ кривой, соответствующей участку AC , будетъ $\left(\frac{dM_y}{dy}\right)_{y=h_2} = A - \frac{\gamma b h_2^2}{2}$,

а для кривой, соответствующей участку BC ,

$$\left(\frac{dM_z}{dz}\right)_{z=e} = B - b\gamma h_2 e.$$

Подставляя сюда значенія A и B , найдемъ что обѣ касательныя совпадаютъ; это показываетъ, что обѣ вѣтви принадлежатъ одной плавной кривой

Перерѣзывающія силы въ стойкахъ.

Участокъ AC . Для любого сѣченія, взятаго на разстояніи y отъ A , перерѣзывающее усиліе

$$Q_y = A - \frac{\gamma b y^2}{2} = \frac{\gamma b}{6} \left[h_1^2 - \frac{e^3}{h_1} - 3y^2 \right].$$

По теоремѣ Шведлера $Q = \frac{dM_y}{dy}$ и будетъ равняться нулю въ томъ сѣченіи, гдѣ получается максим. M_y .

Участокъ BC . Для любого сѣченія $Q_z = B - \gamma z h_2$. Графически это изобразится прямой линіей.

✓ Стойки обыкновенно дѣлаются въ видѣ двутавровыхъ балокъ со сплошной стѣнкой.

Примѣръ 1. Дано: $h_1=10$ м., $e=4,5$ м., $h_2=5,5$ м., $b=1,5$ м.

Здѣсь $h_1=2,22e$; слѣдовательно для обоихъ участков $Maxim$ M будетъ въ сѣченіи C .

$$A = \frac{1,5 \gamma}{6,10} (10^3 - 4,5^3) = 22722 \text{ kg.}$$

$$B = \frac{1,5 \gamma}{6,10} (2000 - 30,20,25 + 91,125) = 37090 \text{ kg.}$$

$$M_{max} = 83377 \text{ kgm.}$$

На черт. 113 а представлены эпюры моментовъ и перерѣзывающихъ усилий

Примѣръ 2. Дано: $h_1=10$ м., $e=3,0$ м., $h_2=7$ м., $b=1,5$ м.

Получимъ $A=24325$ kg., $B=43925$ kg., $y_{max}=5,87$ м., $z_{max}=4,18$ м.

$M_{y_{max}}=94218$ kgm. $M_{z_{max}}=91876$ kgm.

На черт. 113 б представлена эпюра моментовъ; для общей точки C для обоихъ вѣтвей кривой получается одно и тоже численное значеніе момента $M_{11}=84525$ kgm.

§ 50. Вереяльные столбы должны быть тщательно соединены съ рамными брусками и съ ригелями если таковые имѣются. Вращеніе полотень воротъ происходитъ около вертикальныхъ осей; для этого, нижніе столбы вереяльныхъ столбовъ снабжаются пятниками, опирающимися на пяты; а шейки верхнихъ концовъ обхватываются гальсбантами, концы которыхъ закрѣпляются въ стѣнахъ. Для достиженія водонепроницаемости въ плоскости соприкасанія со стѣной вереяльнаго столба, къ послѣднимъ рекомендуется прикрѣплять деревянные бруски; въ тѣхъ же мѣстахъ, гдѣ дерево быстро разрушается морскимъ червемъ, стараются какъ можно точнѣе установить верхній столбъ такъ, чтобы онъ плотно прилегалъ къ стѣнамъ шкафа, но это вообще трудно достижимо и обходится дорого. Вереяльные столбы металлическихъ воротъ по примѣру деревянныхъ иногда опираются въ углы шкафовъ по всей длинѣ даже и въ томъ случаѣ, если поставлены дополнительные бруски, обезпечивающіе водонепроницаемость. При этомъ напоръ воды, дѣйствующій на риге-

ли, передается прямо на стѣну черезъ веревальный столбъ безъ изгиба послѣдняго. Но такой конструкціи нельзя рекомендовать, потому что распредѣленіе усилій при этомъ не ясно, и расчетъ будетъ не точенъ. Гораздо лучше въ этомъ отношеніи примѣнять новыя конструкціи, гдѣ веревальные столбы опираются на стѣны только въ нѣсколькихъ пунктахъ, въ которыхъ ставятся особыя металлическія подушки для каждаго ригеля (см. черт. 74) или для нѣкоторыхъ изъ нихъ (черт. 76). При такой конструкціи передача давленія на стѣны будетъ уже вполне опредѣленная. Если не всѣ ригели опираются на подушки, то веревальный столбъ будетъ подверженъ нѣкоторому изгибу. Въ § 46 уже было сказано, что весьма рационально передавать давленіе на стѣну только черезъ рамные брусья, потому что распредѣленіе усилій при этомъ становится особенно просто, и расчетъ всѣхъ частей воротъ будетъ уже вполне точенъ.

Вереальные столбы дѣлаются изъ желѣза и дерева. Чугунъ въ настоящее время для этой цѣли уже не примѣняется.

Поперечное сѣченіе веревальнаго столба должно быть такое, чтобы было удовлетворено условіе прочности, чтобы просто и удобно было соединеніе его съ рамными брусьями и ригелями, чтобы можно было точно приладить къ нему деревянные бруски для достиженія водонепроницаемости, подушки подъ ригелями, шейку на верху и пятникъ внизу, и наконецъ веревальный столбъ долженъ быть такъ устроенъ, чтобы можно было обнаружить появленіе ржавчины и возобновить окраску.

а) *Вереальные столбы, плотность соприкасанія которыхъ съ углами шкафовъ достигается деревянными брусками.* Столбы эти бываютъ преимущественно двутавроваго сѣченія. Для небольшихъ воротъ они дѣлаются изъ прокатныхъ **I**-ыхъ балокъ, а при большихъ размѣрахъ склеиваются изъ уголковъ и листовъ. На черт. 114 показанъ веревальный столбъ изъ прокатнаго двутавроваго желѣза. Ригели здѣсь той же высоты, какъ и столбъ; со стороны верхняго бѣефа прикле-

пано листовое желѣзо. Ригели со столбами соединяются при помощи уголковъ, и кромѣ того стыкъ ихъ перекрывается листовымъ желѣзомъ, какъ это показано на чертежѣ. На черт. 115 показанъ веревальный столбъ составного сѣченія. На черт. 116 представлена конструкція веревального столба, примѣнявшаяся прежде. Столбъ этотъ по всей длинѣ плотно соприкасается съ угломъ шкафа, сдѣланнаго изъ гранитныхъ плитъ, вытесанныхъ по цилиндрической поверхности, соответствующей формѣ столба. Закленки въ этой части столба сдѣланы съ потайными головками. Конструкція эта въ настоящее время уже не примѣняется.

б) *Вереяльные столбы, при которыхъ водонепроницаемость достигается плотнымъ соприкасаніемъ съ углами шкафовъ.* Сюда конечно можно отнести конструкцію указанную выше на черт. 116. На черт. 117 представленъ веревальный столбъ воротъ, построенныхъ сравнительно недавно въ Wilhelmshaven'ѣ. Сѣченіе его имѣетъ форму полукруга. Наружный листъ толщиною 25 мм. согнутъ и обструганъ по дугѣ круга; концы его обхватываютъ стойку, склепанную изъ уголковъ и листовъ. Эта стойка вмѣстѣ съ полуцилиндромъ и образуетъ веревальный столбъ. Къ стойкѣ прикрѣплены ригеля; для жесткости веревального столба къ внутренней сторонѣ полуцилиндрическаго листа приклепаны уголки, которые служатъ какъ бы продолженіемъ ригелей. Горизонтальные стыки полуцилиндрическаго листа назначены въ плоскостяхъ ригелей и перекрываются съ внутренней стороны листовыми накладками толщиною 12 мм., съ которыми склепываются и вышеупомянутые уголки жесткости. Столбъ этотъ по всей длинѣ 14,22 м. упирается въ уголъ шкафа. Сборка этого столба очень затруднительна, и еще труднѣе достигнуть полной водонепроницаемости. Поэтому нельзя рекомендовать этой конструкціи.

Нѣсколько иначе устроены веревальные столбы въ новыхъ англійскихъ шлюзахъ (см. черт. 118). Здѣсь остовъ веревального столба сдѣланъ таврового сѣченія и состоитъ изъ двухъ уголковъ и листовъ; къ нему прикрѣпляются два деревян-

ныхъ бруска, изъ которыхъ каждый въ поперечномъ сѣченіи представляетъ четверть эллипса; эти деревянные бруски при закрытыхъ воротахъ упираются въ углы шкафовъ и передаютъ на стѣны все усиліе отъ ригелей. Главное достоинство этой конструкціи состоитъ въ томъ, что водонепроницаемость въ углахъ шкафовъ достигается очень просто, если же въ послѣдствіи и окажется въ нѣкоторыхъ мѣстахъ фильтрація воды, то ее легко устранить, смѣнивъ деревянные брусья. Соединеніе ригелей съ веревальнымъ столбомъ здѣсь не представляетъ затрудненій; деревянные же бруски представляютъ и то преимущество, что они образуютъ упругую прокладку между воротами и стѣной. Единственное неудобство этой конструкціи заключается въ томъ, что расчетъ ригелей не точенъ. На черт. 119 представленъ подобный же веревальный столбъ; отъ предыдущаго онъ отличается только тѣмъ, что сдѣланъ изъ прокатнаго С-образнаго желѣза, къ которому прикрѣпляется деревянная часть при помощи шуруповъ длиною 15 сант.

с) *Вереальные столбы для криволинейныхъ воротъ съ одночной обшивкой.* Если обшивка воротъ расположена по кривой равновѣсія, то она передаетъ весь напоръ воды на боковые стѣны безъ помощи ригелей и стоекъ. Въ этомъ случаѣ веревальный столбъ служитъ какъ бы пятой арки, образующей ворота. Поэтому здѣсь надо обратить особенное вниманіе на то, чтобы надлежащимъ образомъ было сдѣлано соединеніе криволинейной обшивки съ веревальнымъ столбомъ и послѣдняго съ угломъ шкафа. Для достиженія водонепроницаемости и въ данномъ случаѣ полезно примѣнять деревянные брусья. На черт. 120 показано сѣченіе веревального столба воротъ, криволинейная обшивка которыхъ сдѣлана изъ листового желѣза. Столбъ этотъ опирается въ уголъ шкафа по цилиндрической поверхности. Послѣдняя при помощи уголковъ соединяется съ обшивкой и Т-овымъ желѣзомъ поставленнымъ для жесткости послѣдней. Сборка такого столба представляетъ много затрудненій. Ничто не мѣшаетъ и въ данномъ случаѣ примѣнять столбы крестообразнаго и двутавро-

ваго сѣченія и опирать ихъ въ углы шкафовъ не по всей длинѣ, а только въ нѣкоторыхъ пунктахъ.

На черт. 121 показано поперечное сѣченіе верейльнаго столба для шлюзовыхъ воротъ канала Oder—Spree. Обшивка здѣсь сдѣлана изъ волнистаго желѣза.

Верейльный столбъ сдѣланъ коробчатаго сѣченія изъ четырехъ листовъ и четырехъ уголковъ. Давленіе отъ верейльнаго столба на стѣну передается черезъ нѣсколько опорныхъ подушекъ. Волнистое желѣзо соединяется со столбомъ при помощи корытнаго, а съ послѣднимъ при помощи чугунныхъ отливокъ.

Интересны также сравнительно новѣйшія конструкціи верейльныхъ столбовъ, изображенныя на черт. 122 и 123.

§ 51. Расчетъ верейльныхъ столбовъ.

а) *Верейльные столбы ригельныхъ воротъ.* Столбы, упирающіеся въ углы шкафовъ по всей своей длинѣ, вовсе не работаютъ на изгибъ; изгиба не бываетъ и въ томъ случаѣ, если давленіе на каменную кладку передается только въ нѣсколькихъ пунктахъ черезъ особыя подушки, поставленныя противъ каждаго ригеля. Слѣдовательно верейльный столбъ будетъ подверженъ изгибу только въ томъ случаѣ, когда опоры назначены не для каждаго ригеля, какъ это схематически представлено на черт. 124. На каждый ригель дѣйствуютъ два рода усилій: продольное, направленное по оси ригеля, и поперечное, нормальное къ оси его. Послѣднее передается прямо на стѣну такъ, что верейльный столбъ будетъ изгибаться только подъ вліяніемъ силъ, направленныхъ по оси ригелей.

При расчетѣ верейльный столбъ можно разсматривать какъ неразрѣзную балку. Опорные моменты $M_n, M_{n+1}, M_{n+2} \dots$ опредѣляются изъ основнаго уравненія

$$\left. \begin{aligned} M_n c_n + 2 M_{n+1} (c_n + c_{n+1}) + M_{n+2} c_{n+1} = \\ = 6 \int_0^{c_{n+1}} m_{n+1} dx + \frac{6}{c_n} \int_0^{c_n} m_n x dx - \frac{6}{c_{n+1}} \int_0^{c_{n+1}} m_{n+1} x dx \end{aligned} \right\} \quad (62).$$

Здѣсь черезъ m_n, m_{n+1} обозначены тѣ моменты, которые по-

лучились бы въ сѣченіяхъ n -аго и $(n+1)$ -аго пролета въ томъ случаѣ, если бы эти пролеты были перекрыты свободнолежащими балками.

Далѣе будемъ разсматривать пролеты съ однимъ и двумя грузами, расположенными между опорами.

Пролеты съ однимъ сосредоточеннымъ грузомъ. Эпюра моментовъ m для сѣченій свободнолежащей балки при одномъ сосредоточенномъ грузѣ, какъ извѣстно, имѣетъ видъ треугольника, въ которомъ наибольшая ордината равна моменту m въ сѣченіи, проведенномъ черезъ точку приложенія груза; слѣдовательно (черт. 125).

$$GH = \frac{P_n \cdot s_n \cdot s'_n}{c_n}, \quad JK = \frac{P_{n+1} \cdot s_{n+1} \cdot s'_{n+1}}{c_{n+1}}$$

$$\text{и } \int_0^{c_{n+1}} m_{n+1} dx = \frac{JK \cdot c_{n+1}}{2} = \frac{P_{n+1} \cdot s_{n+1} \cdot s'_{n+1}}{2},$$

$$\int_0^{c_n} m_n x dx = \frac{GH \cdot s_n}{2} \cdot \frac{2}{3} s_n + \frac{GH \cdot s'_n}{2} \left(s_n + \frac{s'_n}{3} \right) =$$

$$= \frac{P_n s_n s'_n}{6 c_n} [2 s_n^2 + 3 s_n s'_n + (s'_n)^2],$$

$$\int_0^{c_{n+1}} m_{n+1} x dx = \frac{P_{n+1} s_{n+1} s'_{n+1}}{6 c_{n+1}} [2 s_{n+1}^2 + 3 s_{n+1} s'_{n+1} + (s'_{n+1})^2].$$

Если подставить эти значенія въ предыдущее уравненіе (62), то получится

$$\left. \begin{aligned} M_n c_n + 2 M_{n+1} (c_n + c_{n+1}) + M_{n+2} c_{n+1} &= \frac{P_n s_n s'_n}{c_n^2} [2 s_n^2 + (s'_n)^2 + 3 s_n s'_n] + \\ &+ \frac{P_{n+1} s_{n+1} s'_{n+1}}{c_{n+1}^2} [2 (s'_{n+1})^2 + s_{n+1}^2 + 3 s_{n+1} s'_{n+1}] \end{aligned} \right\} \quad (63)$$

Примѣняя это уравненіе для $n=0, 1, 2, \dots$, получимъ достаточное число уравненій для опредѣленія всѣхъ опорныхъ моментовъ, если принять моменты на крайнихъ опорахъ 0 и r равными нулю.

При $s_n = s'_n = \frac{c_n}{2}$ и $s_{n+1} = s'_{n+1} = \frac{c_{n+1}}{2}$ формула (63) принимает видъ:

$$M_n c_n + 2 M_{n+1} (c_n + c_{n+1}) + M_{n+2} c_{n+1} = \frac{3}{8} [P_n c_n^2 + P_{n+1} c_{n+1}^2] \dots (64)$$

Если всё пролеты равны, т. е. если $c_n = c_{n+1} = \dots = c$, то

$$M_n + 4 M_{n+1} + M_{n+2} = \frac{3}{8} c (P_n + P_{n+1}) \dots (65).$$

Величина силъ P_n и P_{n+1} опредѣляется по § 44. Моменты на опорахъ принято считать отрицательными. Если они извѣстны, то легко опредѣлить величину момента для любого сѣченія веревяльнаго столба. На черт. 126 ординатами $\overline{1a}$ и $\overline{2b}$ представлены соотвѣтствующіе опорные моменты.

Если точки 0, a , b и 3 соединить ломаной линіей 0 a b 3, то отрицательный моментъ въ любомъ сѣченіи балки будетъ изображаться горизонтальнымъ отрѣзкомъ, проведеннымъ черезъ данное сѣченіе до ломаной линіи 0 a b 3. Эти отрицательные моменты надо сложить съ положительными, которые на чертежѣ изображены горизонтальными ординатами треугольниковъ 0 α 1, 1 β 2, 2 γ 3 (черт. 126 справа). Заштрихованная часть представляетъ сумму отрицательныхъ и положительныхъ моментовъ. Площади, расположенныя $\frac{\text{справа}}{\text{слѣва}}$ даютъ $\frac{\text{отрицательный}}{\text{положительный}}$ моментъ для даннаго сѣченія.

Если, напримѣръ, имѣется четыре опоры, пролеты равны, и точки прѣложенія грузовъ совпадаютъ съ серединами пролетовъ, то

$$M_0 = M_3 = 0,$$

$$4 M_1 + M_2 = \frac{3}{8} c (P_0 + P_1), \quad (n = 0),$$

$$M_1 + 4 M_2 = \frac{3}{8} c (P_1 + P_2) \quad (n = 1).$$

Отсюда $M_1 = \frac{c}{40} [4 P_0 + 3 P_1 - P_2],$

$$M_2 = \frac{c}{40} [-P_0 + 3P_1 + 4P_2].$$

Если верхний рамный брусъ расположенъ на уровнѣ воды верхняго бьефа, а обратнаго напора со стороны нижняго бьефа нѣтъ, то заштрихованныя части площади давленіи (черт. 127) можно принять за нагрузки P_0 , P_1 , и P_2 соответствующихъ ригелей. Тогда нагрузка на 1 пог. мет. ригеля

$$p_0 = \frac{\gamma c^2}{4}; p_1 = \frac{3\gamma c^2}{4}, p_2 = \frac{5}{4}\gamma c^2,$$

а такъ какъ вообще $P = \frac{plw}{4f}$, то

$$P_0 = \frac{\gamma c^2 lw}{16f}, P_1 = \frac{3\gamma c^2 lw}{16f}, P_2 = \frac{5\gamma c^2 lw}{16f};$$

тогда $M_1 = \frac{\gamma c^3 lw}{80f}$, $M_2 = \frac{\gamma c^3 lw}{80f} \cdot 3,5$

На черт. 126 опорные моменты M_1 и M_2 представлены ординатами $1a$ и $2b$. Способъ опредѣленія моментовъ для другихъ сѣченій указанъ выше.

Въ данномъ случаѣ $s_0 = s'_0 = \frac{c_0}{2}$, $s_1 = c'_1 = \frac{c_1}{2}$, $s_2 = s'_2 = \frac{c_2}{2}$,
 $c_0 = c_1 = c_2$;

слѣдовательно $\alpha\alpha' = \frac{P_0 c}{4} = \frac{\gamma c^3 lw}{80f} \cdot \frac{5}{4}$; $\beta\beta' = \frac{P_1 c}{4} = \frac{\gamma c^3 lw}{80f} \cdot \frac{15}{4}$,

$$\gamma\gamma' = \frac{P_2 c}{4} = \frac{\gamma c^3 lw}{80f} \cdot \frac{25}{4}.$$

Наибольшій отрицательный моментъ будетъ $M_2 = \frac{\gamma c^3 lw}{80f} \cdot 3,5$

и наибольшій положительный моментъ $M_2 = \frac{\gamma c^3 lw}{80f} \cdot 4,5$ (6,25 - 1,75)

Если $c=2,0$ м., $l=2,8$ м., $w=5,2$ м., $f=1$ м., то

$$M_{max} = \frac{1000 \cdot 8 \cdot 2,8 \cdot 5,2}{80 \cdot 1} \cdot 4,5 = 6552 \text{ кгм.}$$

При допускаемомъ напряженіи $K=1000 \frac{\text{кг}}{\text{см}^2}$ должно быть

$$\frac{J}{a} = \frac{655200}{1000} = 655,2 \text{ см.}^3$$

Моментъ инерціи сѣченія, указаннаго на черт. 128, относительно оси YU

$$J_y = 9002 \text{ см.}^4 \quad \text{и} \quad \frac{J_y}{a} = 666 \text{ см.}^3$$

Если на ворота дѣйствуетъ напоръ воды и со стороны нижняго бѣфа, то измѣнятся только силы P . Если, напри-
мѣръ, горизонтъ воды нижняго бѣфа совпадаетъ съ опорой 2
(см. черт. 127), то соотвѣтствующая площадь давленія ниже
опоры 2 превратится въ прямоугольникъ, какъ это указано
на томъ же чертежѣ пунктиромъ, и тогда $p_2 = 2\gamma c \cdot \frac{c}{2} = \gamma c^2$,

$$\text{слѣдовательно} \quad P_2 = \frac{\gamma c^2 l w}{4f} = \left(\frac{\gamma c^2 l w}{16f} \right) \cdot 4.$$

Силы P_0 и P_1 не измѣняются. Подставляя значенія P въ
уравненія для M_1 и M_2 , получимъ

$$M_1 = \frac{c}{40} \cdot \frac{\gamma c^2 l w}{16f} (4+9-4) = \left(\frac{\gamma c^3 l w}{80f} \right) \frac{9}{8}$$

$$M_2 = \frac{c}{40} \cdot \frac{\gamma c^2 l w}{16f} (-1+9+16) = \frac{\gamma c^3 l w}{80f} \cdot 3.$$

Въ данномъ случаѣ наибольшій положительный моментъ
получается на серединѣ третьяго пролета:

$$\gamma' \gamma = \frac{P_2 c}{4} = \frac{\gamma c^3 l w}{16f} = \left(\frac{\gamma c^3 l w}{80f} \right) \cdot 5,$$

такъ что сумма моментовъ въ этомъ сѣченіи

$$M_2 = \frac{\gamma c^3 l w}{80f} \left(5 - \frac{3}{2} \right) = \frac{\gamma c^3 l w}{80f} 3,5;$$

это въ тоже время будетъ и наибольшій моментъ, такъ что
при тѣхъ же численныхъ значеніяхъ получимъ

$$M_{max} = \frac{1000 \cdot 8 \cdot 2,8 \cdot 5,2 \cdot 3,5}{80 \cdot 1} = 5096 \text{ кгм.}$$

При $c_n = c_{n+1} = c$

$$M_n + 4 M_{n+1} + M_{n+2} = \frac{c}{27} (8 P_n + 10 P'_n + 10 P_{n+1} + 8 P'_{n+1}) \dots (67).$$

Если имѣются пролеты съ однимъ и двумя грузами, то для двухъ смежныхъ пролетовъ, изъ которыхъ одинъ имѣетъ одинъ грузъ, а другой два груза, надо въ общее уравненіе подставить соотвѣтствующія значенія интеграловъ.

При $s_n = s'_n = \frac{c_n}{2}$ и $s_{n+1} = \frac{c_{n+1}}{3} = s'_{n+1}$ получается

$$M_n c_n + 2 M_{n+1} (c_n + c_{n+1}) + M_{n+2} c_{n+1} = \frac{3}{8} P_n c_n^2 + \\ + \frac{c_{n+1}^2}{27} (10 P_{n+1} + 8 P'_{n+1}) \dots \dots \dots (68).$$

Такимъ образомъ для двухъ смежныхъ пролетовъ, имѣющихъ по одному грузу, надо примѣнять уравненія (64) и (65), для смежныхъ пролетовъ, имѣющихъ по два груза въ каждомъ,—уравненія (66) и (67), а если на одномъ пролетѣ помѣщается одинъ грузъ, а на другомъ, смежномъ съ нимъ, два груза, то надо брать уравненіе (68).

Примръ. Имѣется четыре опоры на равныхъ разстояніяхъ другъ отъ друга; на двухъ верхнихъ пролетахъ помѣщается по одному грузу, на нижнемъ—два груза; точки приложенія ихъ дѣлятъ пролетъ на три равныя части (черт. 130).

Согласно уравненію (65) при $n=0$

$$4 M_1 + M_2 = \frac{3}{8} c (P_0 + P_1),$$

и по уравненію (68) при $n=1$ и $c_n = c_{n+1} = c$

$$M_1 + 4 M_2 = \frac{3}{8} c (P_1) + \frac{c}{27} (10 P_2 + 8 P'_2).$$

Рѣшая эти два уравненія, находимъ

$$M_1 = \frac{c}{15} \left[\frac{3}{2} P_0 + \frac{9}{8} P_1 - \frac{10}{27} P_2 - \frac{8}{27} P'_2 \right],$$

$$M_2 = c \left[\frac{3 P_1 - P_0}{40} + \frac{40 P_2 + 32 P'_2}{405} \right].$$

Если $c = 2 \text{ м.}$, $l = 2,8 \text{ м.}$, $w = 5,2 \text{ м.}$, $f = 1 \text{ м.}$,

$$P_0 = \frac{\gamma c^2 l w}{16 f}, \quad P_1 = \frac{\gamma c^2 l w}{16 f} \cdot 3,$$

$$P_2 = \frac{2 \gamma c^2}{3} \cdot \frac{l w}{4 f} = \left(\frac{\gamma c^2 l w}{16 f} \right) \left(\frac{8}{3} \right) \left\{ \begin{array}{l} \text{горизонтъ воды нижняго бьефа со-} \\ \text{впадаетъ съ опорой 2.} \end{array} \right\}$$

$$P'_2 = \frac{2 \gamma c^2}{3} \cdot \frac{l w}{4 f} = \frac{\gamma c^2 l w}{16 f} \left(\frac{8}{3} \right),$$

$$M_1 = \frac{c}{15} \frac{\gamma c^2 l w}{16 f} \left[\frac{3}{2} + \frac{27}{8} - \frac{10}{27} \cdot \frac{8}{3} - \frac{8}{27} \cdot \frac{8}{3} \right] = \frac{\gamma c^3 l w}{f} 0,0129,$$

$$M_2 = 0,042 \frac{\gamma c^3 l w}{f}.$$

Положительные моменты въ точкахъ приложенія грузовъ:

$$\text{въ пролетѣ } \overline{01}: \frac{P_0 c}{4} = \frac{\gamma c^3 l w}{64 f}; \quad \text{въ пролетѣ } \overline{12}: \frac{P_1 c}{4} = \frac{\gamma c^3 l w}{64 f} \cdot 3$$

$$\begin{aligned} \text{въ пролетѣ } \overline{23}: P_2 \cdot \frac{c}{3} \cdot \frac{2}{3} + P'_2 \cdot \frac{c}{9} &= \frac{c}{9} (2 P_2 + P'_2) = \frac{3 c}{9} P_2 = \frac{P_2 c}{3} = \\ &= \frac{\gamma c^3 l w}{18 f}, \end{aligned}$$

$$\text{и } P'_2 \cdot \frac{c}{3} \cdot \frac{2}{3} + P_2 \cdot \frac{c}{9} = \frac{c}{9} (2 P'_2 + P_2) = \frac{3 c}{9} P'_2 = \frac{P'_2 c}{3} = \frac{\gamma c^3 l w}{18 f}.$$

Такимъ образомъ въ точкахъ приложенія грузовъ будутъ слѣдующіе моменты:

$$\text{для } \alpha: M_\alpha = \frac{\gamma c^3 l w}{f} \left(\frac{1}{64} - \frac{0,0129}{2} \right) = 0,0092 \frac{\gamma c^3 l w}{f},$$

$$\text{» } \beta: M_\beta = \frac{\gamma c^3 l w}{f} \left(\frac{3}{64} - 0,0274 \right) = 0,02 \frac{\gamma c^3 l w}{f},$$

$$\text{» } \gamma: M_\gamma = \frac{\gamma c^3 l w}{f} \left(\frac{1}{18} - 0,028 \right) = 0,028 \frac{\gamma c^3 l w}{f},$$

$$\text{» } \delta: M_\delta = \frac{\gamma c^3 l w}{f} \left(\frac{1}{18} - 0,014 \right) = 0,042 \frac{\gamma c^3 l w}{f}.$$

Слѣдовательно наибольшій по абсолютной величинѣ моментъ

$$M_{max} = 0,042 \frac{\gamma c^3 l w}{f}.$$

Если сюда подставить тѣже численныя значенія, какъ и въ предыдущемъ примѣрѣ, принимая во вниманіе, что въ нижнемъ пролетѣ помѣщается не одинъ грузъ, какъ это было раньше, а два, то будетъ

$$M_{max} = 42.8 \cdot 2,8.5,2 = 4892,16 \text{ } \dot{kgm}.$$

т. е. наибольшій моментъ при этомъ получается нѣсколько меньше, чѣмъ въ первомъ случаѣ.

Изъ предыдущаго видно, что при расположеніи опоръ не противъ каждаго ригеля веревальные столбы испытываютъ довольно значительные изгибающіе моменты. Для уменьшенія напряженій въ веревальномъ столбѣ полезно снабжать опорами, если не всѣ ригели, то по крайней мѣрѣ глубоко погруженные въ воду, т. е. тѣ, на которые передаются наибольшія продольныя усилія. Выше предполагалось, что все продольное усиліе, дѣйствующее на ригель, передается непосредственно на веревальный столбъ, въ дѣйствительности же нѣкоторая часть его передается прямо на стѣну черезъ брусъ, поставленный ради водонепроницаемости; но благодаря этому усилія, дѣйствующія на веревальный столбъ, уменьшаются немного, такъ что предыдущій способъ расчета будетъ достаточно точенъ.

✓ б) *Вереальные столбы стоечныхъ воротъ.* При правильной конструкціи столбы эти вовсе ни работаютъ на изгибъ, когда ворота закрыты.

с) *Вереальные столбы криволинейныхъ воротъ.* Въ воротахъ новѣйшей системы цилиндрической формы обшивка передаетъ дѣйствующее усиліе на веревальный столбъ безъ содѣйствія ригелей.—При этомъ обшивка дѣлается изъ волнистаго желѣза; образующія волнъ располагаются въ горизонтальныхъ плоскостяхъ; веревальные столбы передаютъ давленіе на стѣны черезъ нѣсколько подушекъ. Согласно § 41 при радиусѣ кривизны R цилиндрическихъ воротъ на глубинѣ y нагрузка на пог. ед. веревальнаго столба будетъ $p = \gamma R y$. Такъ какъ здѣсь R есть величина постоянная, то p измѣняется въ зависимости отъ y . Въ предѣлахъ глубины нижняго бѣфа нагрузка

постоянна и будетъ $p = \gamma R K$. Веревяльный столбъ работаетъ какъ неразрѣзная балка. Опорные моменты опять опредѣлятся по формулѣ (62). Опоры верхняго столба обыкновенно назначаются на равныхъ разстояніяхъ c другъ отъ друга. Если же этого нѣтъ на самомъ дѣлѣ, то формулы будутъ нѣсколько сложнѣе, но ходъ расчета вовсе не измѣнится.

Для двухъ смежныхъ пролетовъ верхней части зависимость между опорными моментами выражается уравненіемъ (срав. ур. 17).

$$M_n + 4 M_{n+1} + M_{n+2} = \frac{\gamma R c^3}{2} (n+1).$$

Для двухъ смежныхъ пролетовъ нижней части (ниже горизонта нижняго бьефа) надо примѣнять уравненіе (сравни. также ур. 30).

$$M_n + 4 M_{n+1} + M_{n+2} = \frac{\gamma K' R}{2} c^2.$$

Для двухъ смежныхъ пролетовъ, изъ которыхъ одинъ расположенъ въ верхней части, а другой въ нижней (сравни. ур. 32).

$$M_n + 4 M_{n+1} + M_{n+2} = (30 K' - 7 c) \frac{R \gamma c^2}{60}.$$

Примѣръ. Дано $h=7,52$ м., $h'=4,7$ м., $m=5c$, $c=0,94$ м. $R=7,0$ м. Число пролетовъ 8. Тогда

$$n=0: \quad 4 M_1 + M_2 = \frac{\gamma R}{2} \cdot c^3,$$

$$n=1 \quad M_1 + 4 M_2 + M_3 = \frac{\gamma R c^3}{2} \cdot 2,$$

$$n=2 \quad M_2 + 4 M_3 + M_4 = \frac{\gamma R c^3}{2} \cdot 3,$$

$$n=3 \quad M_3 + 4 M_4 + M_5 = \frac{\gamma R c^3}{2} \cdot 4,$$

$$n=4 \quad M_4 + 5 M_5 + M_6 = \frac{\gamma R c^3}{60} 143,$$

$$n=5 \quad M_5 + 4 M_6 + M_7 = \frac{\gamma R c^3}{2} \cdot 5,$$

$$n = 6 \quad M_6 + 4 M_7 + M_8 = \frac{\gamma R c^3}{2} \cdot 5.$$

Отсюда получается:

$$M_1 = 0,0817 \cdot \gamma R c^3 = 474,68 \text{ kgm.}$$

$$M_2 = 0,174 \cdot \gamma R c^3 = 1010,94$$

$$M_3 = 0,225 \cdot \gamma R c^3 = 1307,25$$

$$M_4 = 0,426 \cdot \gamma R c^3 = 2475,06$$

$$M_5 = 0,07 \cdot \gamma R c^3 = 406,70$$

$$M_6 = 0,485 \cdot \gamma R c^3 = 2817,85$$

$$M_7 = 0,5 \cdot \gamma R c^3 = 2905,00$$

Послѣ этого не трудно опредѣлить моменты и во всѣхъ сѣченіяхъ.

При этомъ не надо забывать, что на веревальный столбъ дѣйствуетъ еще продольное усиліе, равное вѣсу полотна воротъ, уменьшенному на вѣсъ вытѣсненной воды.

§ 52. Створные столбы. Они входятъ въ составъ остова полотна и должны удовлетворять условію водонепроницаемости въ створѣ; иногда ихъ снабжаютъ особыми приспособленіями для того, чтобы удерживать ворота въ открытомъ состояніи.

Створные столбы, представляя часть остова воротъ, принимаютъ на себя давленіе отъ ригелей и во время вращенія полотенъ передаютъ усилія на верхніе и нижніе рамные бруссы. Въ закрытомъ состояніи воротъ на нихъ дѣйствуютъ сжимающія усилія H (см. черт. 53), которыя направлены горизонтально и въ проекціи перпендикулярны къ продольной оси шлюза; эти сжимающія усилія передаются потомъ на ригели. Способы расчетовъ створныхъ столбовъ для воротъ ригельной и стоечной системы различны.

а) *Ригельныя ворота.* Распредѣленіе усилій, дѣйствующихъ на створный столбъ, въ точности не извѣстно. Выше при расчетѣ ригелей предполагалось, что напоръ воды черезъ обшивку передается на ригели, а послѣдніе переносятъ его далѣе; предположеніе это въ сущности сводится къ тому, что соотвѣтствующіе ригели обоихъ полотенъ воротъ принимаютъ на себя также и силу H , такъ что створный столбъ не под-

вергается замѣтнымъ изгибающимъ усиліямъ. На самомъ же дѣлѣ распределеіе усилій будетъ нѣсколько иное, и если оставить въ силѣ вышеуказанное предположеніе и при расчетѣ створнаго столба, то мы поступили бы не въ пользу прочности; въ виду этого въ данномъ случаѣ приходится допустить, что усиліе H , опредѣленное согласно § 36, распределяется по длинѣ створнаго столба по тому же закону какъ и давленіе воды по высотѣ воротъ. На глубинѣ y ниже горизонта воды равнодѣйствующая давленія воды на всю ширину l воротъ равно $\gamma y l$, и вмѣстѣ съ тѣмъ горизонтальное усиліе на погонную единицу будетъ: $\frac{dH}{dy} = \frac{\gamma y l^2}{2f}$. $H = \frac{\gamma l^2}{4f} y^2$ $\frac{dH}{dy} = \frac{\gamma l^2}{2f} y$

По мѣрѣ увеличенія глубины послѣднее усиліе возрастаетъ по закону прямой линіи. Графическимъ изображеніемъ этой силы можетъ служить чертежъ 68; въ предѣлахъ глубины нижняго бѣфа она постоянна т. е.

$$\frac{dH}{dy} = \frac{\gamma h' l^2}{2f}.$$

Створный столбъ опирается на оба рамные бруса и ригеля, такъ что представляетъ неразрѣзную балку, загрузеніе которой представлено на черт. 68.

Расчетъ его дѣлается такъ же, какъ и расчетъ обшивки (см. § 40, II). Тамъ нагрузка на пог. ед. была γy и $\gamma h'$, а здѣсь будетъ $\gamma y \frac{l^2}{2f}$ и $\gamma h' \frac{l^2}{2f}$; такъ что для расчета створнаго бруса правую часть соотвѣтствующаго уравненія надо помножить на $\frac{l^2}{2f}$. Если ригели поставлены на равныхъ разстояніяхъ s другъ отъ друга, то для трехъ смежныхъ опоръ т. е. ригелей получается:

выше горизонта нижняго бѣфа

$$M_n + 4 M_{n+1} + M_{n+2} = \gamma c^2 (n+1) \frac{l^2}{2f} \cdot \left(\frac{c^3}{2} (h+1) \frac{l^2}{2f} \right) \quad (69),$$

ниже горизонта нижняго бѣфа

$$M_n + 4 M_{n+1} + M_{n+2} = \gamma h' \frac{c^2 l^2}{4f} \quad (70),$$

и, если средній изъ трехъ ригелей расположенъ на уровнѣ нижняго бьефа, то

$$M_n + 4 M_{n+1} + M_{n+2} = \frac{\gamma c^3 l^2}{2.60 f} (30 h' - 7 c) . \quad (71).$$

Послѣ опредѣленія опорныхъ моментовъ можно найти моментъ въ любомъ сѣченіи, поступая такъ же, какъ указано въ § 38; обыкновенно опорные моменты по абсолютной величинѣ получаются болѣе моментовъ, взятыхъ для сѣченій, расположенныхъ между опорами.

Найденные моменты дѣйствуютъ въ плоскости, перпендикулярной къ оси шлюза. Чаще всего приходится располагать створный столбъ такъ, что главные оси его поперечнаго сѣченія не совпадаютъ съ плоскостью моментовъ; въ такомъ случаѣ для опредѣленія напряженій изгибающій моментъ раскладывается на два составляющіе $M \cos \alpha$ и $M \sin \alpha$, которые дѣйствуютъ въ вертикальныхъ плоскостяхъ, проходящихъ черезъ главные оси сѣченія (черт. 131).

Примѣръ. Положимъ, какъ и въ примѣрѣ, приведенномъ въ § 40 стр. 129, $c=0,8$ м., $h'=3,2$ м., число ригелей=8, такъ что высота воротъ $h=5,6$ м.; $l=4$ м.; $f=1,6$ м., $\frac{w}{2} = 3,67$ м. $w=7,34$ м.; $\frac{l^2}{2f} = 5$. Для получения опорныхъ моментовъ, дѣйствующихъ въ данномъ случаѣ, надо результаты, полученные выше въ § 40, помножить на 5, такъ что

$$M_1 = -21860 \text{ кгсм.}, M_2 = -40450 \text{ кгсм.}, M_3 = -72115 \text{ кгсм.}$$

$$M_4 = -54990 \text{ кгсм.}, M_5 = -87810 \text{ кгсм.}, M_6 = -105985 \text{ кгсм.}$$

Для расчета надо взять наибольшій моментъ т. е. 105985 кгсм.

$$\cos \alpha = \frac{w}{2l} = \frac{3,67}{4} \text{ и } \sin \alpha = \frac{1,6}{4}; \text{ такъ что}$$

$$M_{max} \cos \alpha = -105985 \cdot \frac{3,67}{4} = -97241 \text{ кгсм.}$$

$$M_{max} \sin \alpha = -105985 \cdot \frac{1,6}{4} = -42394 \text{ кгсм.}$$

Наибольшее напряженіе въ сѣченіи створнаго столба

$$N_{max} = \frac{M_{max} \sin \alpha}{W_1} + \frac{M_{max} \cos \alpha}{W_2}.$$

Наибольшее допускаемое напряженіе для литого желѣса $K=1000 \text{ кг/см}^2$ N_{max} не должно быть болѣе $K=1000 \text{ кг/см}^2$, слѣдовательно

$$1000 \geq \frac{M_{max} \sin \alpha}{W_1} + \frac{M_{max} \cos \alpha}{W_2} = \frac{42394}{W_1} + \frac{97241}{W_2}.$$

Для двутаврового желѣза № 36 по русскому нормальному сор-
менту $W_1=975 \text{ см.}^3$, $W_2=95,3 \text{ см.}^3$; слѣдовательно

$$N_{max} = \frac{42394}{975} + \frac{97241}{95,3} = 1064 \text{ кг/см}^2.$$

Для № 38 имѣется $W_1=1132 \text{ см.}^3$ и $W_2=109,3 \text{ см.}^3$, такъ что

$$N_{max} = \frac{42394}{1132} + \frac{97241}{109,3} = 927 \text{ кг/см}^2.$$

Надо взять послѣднее.

Въ выше приведенномъ примѣрѣ рассчитывалась только желѣзная часть створнаго столба. Если же принять во вниманіе и деревянный прокладной брусъ, который безъ сомнѣнія принимаетъ на себя нѣкоторую долю нагрузки, то тѣмъ самымъ мы въ значительной степени усложнили бы расчетъ, а точнаго результата все равно не получили бы вслѣдствіе неоднородности матеріаловъ желѣза и дерева. Поэтому рекомендуется или дѣлать деревянный брусъ такого сѣченія, чтобы онъ одинъ могъ сопротивляться изгибающему моменту, при чемъ желѣзная часть створнаго столба дѣлается очень слабой, или наоборотъ назначить желѣзную часть достаточнаго сѣченія, какъ это указано выше на примѣрѣ, при чемъ деревянная часть дѣлается очень слабой. Первое вполне возможно при устройствѣ небольшихъ воротъ; только расчетъ деревяннаго бруса значительно усложняется вслѣдствіе того, что въ силу конструктивныхъ соображеній ему придается не симметричное сѣченіе; однако затрудненіе это устраняется при расчетѣ воротъ криволинейныхъ, потому что въ этомъ случаѣ сѣченіе бруса дѣлается прямоугольнымъ, какъ показано на черт. 133 и 134, и плоскость изгибающихъ моментовъ совпадаетъ съ главной осью сѣченія.

б) *Стойчные ворота.* Въ воротахъ этой конструкціи давленіе воды черезъ стойки передается на рамные брусъ и отсюда на стѣны и полъ. Створный столбъ въ данномъ случаѣ имѣетъ тоже назначеніе, какъ и прочія стойки, только нагрузка на него будетъ въ два раза меньше, чѣмъ на каждую

стойку, потому что ширина соответствующей площади загрузки приблизительно во столько же раз меньше (черт. 132); а такъ какъ створные столбы плотно соприкасаются, то возникаетъ еще и усилие H ; часть послѣдняго конечно передается прямо на нижній рамный брусъ; но въ запасъ прочности створному столбу придаютъ такое сѣченіе, чтобы онъ былъ въ состояніи выдержать все усилие H .

Нагрузка на пог. ед. столба $= \frac{pb}{2}$ или $\frac{\gamma y b}{2}$, т. к. $p = \gamma y$; кромѣ того дѣйствуетъ на пог. ед. усилие

$$\frac{dH}{dy} = \frac{1}{f} \left(\frac{pb}{2} \right) \left(l - \frac{b}{4} \right),$$

или съ достаточной точностью

$$\frac{dH}{dy} = \frac{pbl}{2f} = \frac{\gamma y bl}{2f} = Z;$$

это усилие относится къ той части створнаго столба, которая расположена выше горизонта нижняго бьефа; а ниже послѣдняго дѣйствуетъ сила

$$\frac{dH}{dy} = \frac{\gamma h' bl}{2f} = Z'.$$

Такимъ образомъ къ створному столбу приложены двѣ силы $\frac{pb}{2}$ и Z или Z' ; равнодѣйствующая ихъ направлена по оси воротъ, если $\frac{pb}{2}$ приложена на разстояніи l отъ веревлянаго столба, что не совсѣмъ точно. Равнодѣйствующая на пог. ед. равна

$$r = Z \cos \alpha = \frac{pbl \cos \alpha}{2f},$$

такъ что

$$\text{выше горизонта нижняго бьефа: } r = \frac{\gamma bl \cos \alpha}{2f} y,$$

$$\text{ниже горизонта нижняго бьефа: } r' = \frac{\gamma bl \cos \alpha \cdot h'}{2f}.$$

Законъ измѣненія нагрузки изображается чертежомъ 112; Створный столбъ рассчитывается въ данномъ случаѣ такъ же, какъ и стойки (см. § 49); только нагрузка будетъ въ $\left(\frac{l \cos \alpha}{2f}\right)$ болѣе, такъ что для полученія моментовъ, изгибающихъ створный столбъ, надо моменты, соответствующіе стойкѣ, помножить на $\frac{l \cos \alpha}{2f}$. Полученные моменты изгибаютъ столбъ въ вертикальной плоскости, совпадающей съ продольной осью воротъ.

Въ примѣрѣ 1 параграфа 49 найдено, что для стойки $Max M = 83377 \text{ kgm.}$; если $l = 9,6 \text{ m.}$ $f = 3,0 \text{ m.}$, $\frac{w}{2} = 9,0$, такъ что $\cos \alpha = \frac{9}{9,6}$, то $\frac{l \cos \alpha}{2f} = \frac{9,6 \cdot 9}{9,6 \cdot 2 \cdot 3} = 1,5$; слѣдовательно наибольшій моментъ, изгибающій створный столбъ,

$$M'_{max} = 1,5 \cdot 83377 = 125065 \text{ kg. m.}$$

Створные столбы воротъ стоечной системы подвергаются значительнымъ изгибающимъ моментамъ. Для устраненія этого можно согласно § 46 передать все усиліе H на верхній рамный брусъ, а плотность затвора достигнуть независимо отъ передачи этого усилія. До сихъ поръ и не дѣлали воротъ стоечной системы безъ того, чтобы не дать створному столбу нѣсколько промежуточныхъ точекъ опоръ; для этого кромѣ стоекъ ставили нѣсколько ригелей. Благодаря этому створному столбу приходится работать конечно въ болѣе выгодныхъ условіяхъ, но за то распредѣленіе усилій становится очень сложно и не поддается точному расчету.

с) *Криволинейныя ворота.* Створные столбы въ воротахъ этой системы вовсе не подвергаются изгибающимъ усиліямъ.

Плотность затвора достигается тѣмъ, что къ каждому изъ створныхъ столбовъ прочно прикрѣпляется деревянный брусъ, какъ это показано на черт. 73, 76, 78, 79, 92, 133, 134, 136 и 137. Въ исключительныхъ случаяхъ, когда можно опасаться быстрого разрушенія дерева шашнемъ, ставятся желѣзные прокладные листы (черт. 135).

Форму поперечнаго сѣченія створныхъ столбовъ надо назначать, сообразуясь съ тѣмъ, чтобы легко можно было прикрѣплять ригели, рамные брусья и брусья, обезпечивающіе плотность затвора. Для воротъ небольшихъ и среднихъ размѣровъ рекомендуется назначать корытообразное и двутавровое сѣченіе изъ прокатнаго желѣза (черт. 76, 78, 79) или составленное изъ листовъ и уголковъ (черт. 92, 133, 137).

Деревянные брусья прикрѣпляются къ желѣзнымъ створнымъ столбамъ болтами діаметра отъ 20 до 25 мм. Съ той стороны бруса, которая соприкасается съ соотвѣтствующей частью другого полотна воротъ, головки или гайки болтовъ втапливаются (черт. 133, 134, 137); иногда эти углубленія, сдѣланные для болтовъ, перекрываются особымъ листомъ (черт. 136). Въ виду того, что желѣзо въ плоскости соприкосновенія съ деревомъ покрывается ржавчиной очень быстро, подъ деревянными брусьями помѣщаются иногда свинцовые прокладные листы толщиною 6 мм. (см. § 45). При очень широкихъ воротахъ деревянный брусъ дѣлается составнымъ изъ двухъ (черт. 133). На черт. 136 показана своеобразная конструкція, гдѣ деревянный брусъ распредѣляетъ давленіе H на рамные брусья и ригели.

Расчетъ ригельно-стоечныхъ воротъ по способу инженера Cadart'a*).

Въ дополненіе отдѣла, трактующаго о шлюзныхъ воротахъ, приведемъ еще весьма интересный способъ расчета воротъ, состоящихъ изъ ряда ригелей и трехъ стоекъ, предложенный инженеромъ Cadart'омъ. Ввиду того, что ригеля работаютъ при условіяхъ не полного закрѣпленія по опорамъ, онъ предложилъ рассчитать ихъ въ двухъ предположеніяхъ: 1-е что они свободно лежатъ на опорахъ и 2-е, что они закрѣплены по опорамъ, и для окончательнаго расчета взять средніе изъ полученныхъ результатовъ.

Раземотримъ сначала первый случай.

*) *Annales des Ponts et Chaussées* 1900. p. 267.

§ 53. Первый случай. Положимъ, что полотно воротъ образовано изъ 3-хъ стоекъ—двухъ крайнихъ и одной осевой и изъ $(n+1)$ ригелей, имѣющихъ номера отъ 0 до n (счетъ ведется снизу), причемъ при закрытыхъ воротахъ нижній ригель упирается въ король. Обозначимъ черезъ a разстояніе между осями смежныхъ стоекъ (черт. 138); $b_1, b_2, b_3 \dots b_k \dots b_n$ —разстоянія между осями ригелей, причемъ b_1 есть разстояніе между осями 0-го и 1-го ригелей; $h_1, h_2, h_3 \dots h_k \dots h_n$ —высоты осей ригелей 1-го, 2-го... n -го надъ осью нижняго ригеля; $h'_1, h'_2, h'_3 \dots h'_k \dots h'_n$ —высоты центровъ элементовъ $b_1, b_2, b_3 \dots b_n$ надъ осью того же нижняго ригеля; $z_1, z_2, z_3 \dots z_k \dots z_n$ —вертикальныя разстоянія центровъ тѣхъ же элементовъ отъ горизонта верхняго бѣфа; $J_1, J_2, J_3 \dots J_k \dots J_n$ —моменты инерціи ригелей; J —моментъ инерціи осевой стойки; $p_1, p_2, p_3 \dots p_k \dots p_n$ —давленія воды, передаваемыя посредствомъ обшивки каждой половинѣ ригеля длиною a ; такъ какъ давленія эти распределены равномерно по длинѣ ригеля,

то давленія на погонный метръ ригелей будутъ: $\frac{p_1}{a}, \frac{p_2}{a}, \frac{p_3}{a} \dots$

$\frac{p_k}{a} \dots \frac{p_n}{a}$; $q_1, q_2, q_3 \dots q_k \dots q_n$ —давленія воды, передаваемыя посредствомъ обшивки различнымъ элементамъ осевой стойки, имѣющей длины $b_1, b_2, b_3 \dots b_n$; мы можемъ предположить, что давленія эти распределены также равномерно въ каждомъ отдѣльномъ элементѣ; $f_1, f_2, f_3 \dots f_k \dots f_n$ —прогибы, проявляющіеся по срединѣ ригелей, тамъ, гдѣ въ нихъ опирается осевая стойка; $r_0, r_1, r_2 \dots r_n$ —реакціи ригелей на осевую стойку, считаемыя положительными, когда онѣ направлѣны отъ нижняго бѣфа къ верхнему. Реакціи стойки на ригеля, очевидно равны послѣднимъ, но имѣютъ обратный знакъ. Для нихъ за положительное принято направленіе отъ верхняго бѣфа къ нижнему.

Предположимъ, что съ низовой стороны воротъ нѣтъ никакого давленія. Давленіе воды на элементъ обшивки шириною a и высотой b_k равно 1000 кил. $ab_k z_k$. Въ силу теоремы Навье на каждый изъ полуригелей передается давленіе 1000

кил. $ab_k z_k \frac{a^2}{2(a^2 + b_k^2)}$ и на каждый изъ элементовъ стоекъ,

ограничивающихъ разсматриваемый элементъ обшивки, давлѣніе 1000 кил. $ab_k \approx_k \frac{b_k^2}{2(a^2 + b_k^2)}$.

Замѣтимъ, что каждый промежуточный ригель, напримѣръ, $n^0 K$, получаетъ одну часть давлѣнія отъ панели K и другую отъ панели $K+1$, точно также и отрѣзокъ осевой стойки получаетъ одну часть давлѣнія съ правой и другую съ лѣвой стороны. Что касается до верхняго ригеля, то онъ, конечно, получаетъ давлѣніе только отъ панели $n^0 n$. Принимая во вниманіе эти соображенія, можемъ написать:

$$(a) \left\{ \begin{array}{l} p_k = 500 \text{ кил. } a^3 \left(\frac{b_k z_k}{a^2 + b_k^2} + \frac{b_{k+1} z_{k+1}}{a^2 + b_{k+1}^2} \right) \\ p_n = 500 \text{ кил. } a^3 \frac{b_n z_n}{a^2 + b_n^2} \\ q_k = 1000 \text{ кил. } a \frac{b_k^3 z_k}{a^2 + b_k^2} \end{array} \right.$$

Ригель $n^0 K$ длиною $2a$ подверженъ равномернo распределенному давлѣнію $\left(\frac{p_k}{a} \text{ на погонный метръ} \right)$, направленному со стороны верхняго бѣфа, и кромѣ того въ своей срединѣ реакціи r_k осевой стойки, считаемой положительной при направленіи отъ верхняго бѣфа къ нижнему. Максимальный изгибающій моментъ по срединѣ этого ригеля будетъ

$$(\beta) \dots \dots X_k = \frac{a}{2} (p_k + r_k),$$

а соотвѣтственный прогибъ, считаемый положительнымъ въ сторону нижняго бѣфа будетъ

$$(\gamma) \dots \dots f_k = \frac{a^3}{6 E J_k} \left(\frac{5}{4} p_k + r_k \right)$$

Въ любой точкѣ осевой стойки, расположенной въ предѣлахъ $(K+1)$ ой панели и лежащей на высотѣ y отъ оси нижняго ригеля, изгибающій моментъ выразится такъ:

$$(\varepsilon) \dots Y = \sum_1^k q (y - h') - \sum_0^k r (y - h) + \frac{1}{2} \frac{q_{k+1}}{b_{k+1}} (y - h_k)^2$$

Возьмемъ теперь двойной интегралъ изгибающаго момента для $(K+1)$ -ой панели, обозначивъ постоянную интегрирования черезъ C_{k+1} (интегралъ этотъ, будучи умноженъ на $\frac{1}{EJ}$, даетъ уравненіе упругой линіи для изогнутаго элемента стойки).

$$\int \int Y dy dy = C_{k+1} + D_1 y + \frac{1}{24} y \Sigma_1^k q b^2 + \frac{1}{6} \Sigma_1^k q (y - h')^3 - \\ - \frac{1}{6} \Sigma_1^k r (y - h)^3 + \frac{1}{24} \frac{q_{k+1}}{b_{k+1}} (y - h_k)^4.$$

Для K -ой панели подобнымъ же образомъ можемъ написать

$$\int \int Y dy dy = C_k + D_1 y + \frac{1}{24} (y \Sigma_1^{k-1} q b^2 + \frac{1}{6} \Sigma_1^{k-1} q (y - h')^3 - \\ - \frac{1}{6} \Sigma_0^{k-1} r (y - h)^3 + \frac{1}{24} \frac{q_k}{b_k} (y - h_{k-1})^4).$$

Если въ томъ и другомъ уравненіи сдѣлать $y = h_k$, то получимъ ординату упругой линіи стойки въ точкѣ встрѣчи ея съ K -ымъ ригелемъ. Приравнявъ найденныя величины, получимъ:

$$C_{k+1} = C_k - \frac{1}{24} h_k q_k b_k^2 - \frac{1}{6} q_k (h_k - h'_k)^3 + \frac{1}{24} \frac{q_k}{b_k} (h_k - h_{k-1})^4. \\ = C_k - \frac{1}{24} h_k q_k b_k^2 - \frac{1}{48} q_k b_k^3 + \frac{1}{24} q_k b_k^3. \\ = C_k - \frac{1}{48} q_k b_k^2 (2 h_k - b_k)$$

или наконецъ

$$C_{k+1} = C_k - \frac{1}{24} q_k b_k^2 h'_k.$$

Подобнымъ же образомъ получимъ:

$$C_k = C_{k-1} - \frac{1}{24} q_{k-1} b_{k-1}^2 h'_{k-1}.$$

$$C_2 = C_1 - \frac{1}{24} q_1 b_1^2 h'_1.$$

Что касается до C_1 , то оно равно 0, такъ какъ въ точкѣ встрѣчи стойки съ нижнимъ ригелемъ ордината упругой линіи равна 0.

Складывая почленно, получимъ

$$C_{k+1} = -\frac{1}{24} \Sigma_1^k q b^2 h'.$$

Чтобы получить стрѣлу прогиба осевой стойки въ точкѣ встрѣчи ея съ K -ымъ ригелемъ, достаточно подставить въ выраженіе $\int \int Y dy dy$ найденное значеніе C_{k+1} , умножить полученное выраженіе на $\frac{1}{EJ}$ и затѣмъ въ послѣднемъ выраженіи подставить вмѣсто y величину h_k , причемъ безразлично, будемъ ли мы пользоваться выраженіемъ для K -ой или для $(K+1)$ -ой панели.

Этотъ прогибъ, очевидно, равенъ прогибу по срединѣ K -аго ригеля, а потому можемъ написать:

$$f_k = \frac{1}{6 EJ} \left[\frac{1}{4} \Sigma_1^k q b^2 h' + 6 D_1 h_k + \frac{1}{4} h_k \Sigma_1^k q b^2 + \right. \\ \left. + \Sigma_1^k q (h_k - h')^3 - \Sigma_0^k r (h_k - h)^3 \right].$$

или

$$f_k = \frac{1}{6 EJ} \left[\frac{1}{4} \Sigma_1^k (h_k - h') q b^2 + \Sigma_1^k (h_k - h')^3 q + 6 h_k D_1 - \right. \\ \left. - \Sigma_0^k (h_k - h)^3 r \right].$$

Подъ послѣднимъ знакомъ Σ членъ $(h_k - h_k)^3 r_k$ равенъ нулю, а потому выраженіе $\Sigma_0^k (h_k - h)^3 r$ можно замѣнить выраженіемъ $\Sigma_0^{k-1} (h_k - h)^3 r$.

Произведя эту замѣну и подставивъ вмѣсто f_k его значеніе, даваемое уравненіемъ (γ), получимъ новое уравненіе, которое и рѣшимъ относительно r_k . Получимъ:

$$(k) \dots r_k = \frac{J_k}{J} \cdot \frac{1}{a^3} \left[\frac{1}{4} \Sigma_1^k (h_k - h') q b^2 + \Sigma_1^k (h_k - h')^3 q \right] - \\ - \frac{5}{4} p_k + 6 \frac{J_k}{J} \frac{1}{a^3} h_k D_1 - \frac{J_k}{J} \cdot \frac{1}{a^3} \Sigma_0^{k-1} (h_k - h)^3 r.$$

Между $(n+2)$ неизвестныи $r_0, r_1, r_2, \dots, r_n$ и D_1 имѣется n уравненій типа (k) ; ихъ можно написать, давая K значенія отъ 1 до n , къ нимъ мы можемъ добавить два уравненія, выражающія условія статическаго равновѣсія, а именно:

$$(n+1) \dots \Sigma_0^n r = \Sigma_1^n q$$

$$(n+2) \dots \Sigma_1^n h r = \Sigma_1^n h' q.$$

Рѣшивъ эти $(n+2)$ уравненій первой степени съ $(n+2)$ неизвестными, подставимъ въ равенства (β) , (γ) и (ε) вмѣсто r_0, r_1, \dots, r_n найденныя значенія; давая въ уравненіи (ε) y различные значенія, получимъ максимальныя изгибающіе моменты ригелей, ихъ прогибы и изгибающіе моменты осевой стойки въ различныхъ точкахъ по ея высотѣ.

§ 54. Полотно состоитъ изъ трехъ стоекъ и равноотстоящихъ другъ отъ друга ригелей. Въ случаѣ, когда ригели расположены на равныхъ разстояніяхъ другъ отъ друга, вышеприведенныя формулы значительно упрощаются. Для разсматриваемаго случая имѣемъ

$$b_1 = b_2 = b_3 = \dots = b_n = b$$

$$h_1 = b, h_2 = 2b, h_3 = 3b, \dots, h_k = kb.$$

Изъ теоремы Навье слѣдуетъ, что давленіе воды, передаваемое черезъ различные панели обшивки осевой стойкѣ, равно давленію воды на вертикальную полосу воротъ шириною

$2a \frac{b^2}{a^2 + b^2} = \frac{ab^2}{a^2 + b^2}$. Это давленіе, очевидно, равно произведенію 1000 кил. $\frac{ab^2}{a^2 + b^2}$ на площадь равнобедреннаго прямоугольнаго треугольника RST , стороны котораго равны вы-

сотъ горизонта верхняго бѣса надъ осью нижняго рамнаго ригеля, высотъ, которую мы обозначимъ черезъ H (черт. 140).

Изгибающій моментъ въ нѣкоторой точкѣ V $(k+1)$ -го элемента стойки, расположенной на высотѣ y надъ осью нижняго рамнаго ригеля, отъ давленія воды, изображеннаго площадью трапеціи $VUTS$, очевидно, равенъ:

$$1000 \text{ кил.} \cdot \frac{ab^2}{a^2+b^2} \left(\frac{Hy^2}{2} - \frac{y^3}{6} \right)$$

Полный изгибающій моментъ стойки относительно точки V будетъ

$$Y = 1000 \text{ кил.} \cdot \frac{ab^2}{a^2+b^2} \left(\frac{Hy^2}{2} - \frac{y^3}{6} \right) - \Sigma_0^k (y-h) r.$$

Двойной интегралъ этого выраженія, если обозначить постоянную перваго интегрированія черезъ D_1 и принять во вниманіе, что постоянная втораго интегрированія равна нулю, такъ какъ точка S , какъ упирающаяся въ король, неподвижна, будетъ слѣдующій:

$$\int \int Y dy dy = 1000 \text{ кил.} \cdot \frac{ab^2}{a^2+b^2} \left(\frac{Hy^4}{24} - \frac{y^5}{120} \right) + D_1 y - \frac{1}{6} \Sigma_0^k (y-h)^3 r$$

Если примемъ въ этомъ выраженіи $y = h_k$ и умножимъ его на $\frac{1}{EJ}$, то мы получимъ произведеніе, равное f_k —прогибу K -аго ригеля, даваемому выраженіемъ (γ) .

Итакъ

$$f_k = \frac{a^3}{6 EJ_k} \left(\frac{5}{4} p_k + r_k \right) = \frac{1}{6 EJ} \left[\frac{1000 \text{ кил.}}{20} \cdot \frac{ab^2}{a^2+b^2} h_k^4 (5H - h_k) + 6 D_1 h_k - \Sigma_0^k (h_k - h)^3 r \right].$$

Принимая во вниманіе, что $h_m = mb, \dots h_k = kb$ и также, что $\Sigma_0^k (h_k - h) r = \Sigma_0^{k-1} (h_k - h) r$, обозначая для краткости письма

$$(\zeta) \dots 50 \cdot \frac{ab^2}{a^2+b^2} = Q; \frac{J_k}{J} \cdot \frac{b^3}{a^3} = A_k; \frac{5H}{b} = \mu,$$

и, наконецъ, замѣняя кромѣ того неизвѣстную D_1 новою δ , такою, что $\delta = \frac{6 D_1}{b^2}$, получимъ;

$$r_k = A_k Q k^4 (\mu - k) - \frac{5}{4} p_k + A_k k \delta - A_k \sum_0^{k-1} (k-m)^3 r,$$

или

$$(k) \quad \dots r_k = A_k Q k^4 (\mu - k) - \frac{5}{4} p_k + A_k k \delta - A_k [k^3 r_0 + (k-1)^3 r_1 + \dots + 2^3 r_{k-2} + r_{k-1}].$$

Уравненіе $(n+1)$ -ое и $(n+2)$ -ое принимаютъ въ этомъ случаѣ слѣдующій видъ:

$$(n+1) \quad \dots r_0 + r_1 + r_2 + \dots + r_n = \frac{2}{5} Q \mu^2$$

$$(n+2) \quad \dots r_1 + 2 r_2 + \dots + n r_n = \frac{2}{75} Q \mu^3$$

Наконецъ изгибающій моментъ осевой стойки въ мѣстѣ пересѣченія ея съ K -ымъ ригелемъ будетъ равенъ:

$$(э) \quad -Y_k = b[k r_0 + (k-1) r_1 + \dots + 2 r_{k-2} + r_{k-1} - 2 Q k^2 (\mu - \frac{5}{3} k)].$$

§ 55. Усиліе, являющееся результатомъ створа. Тѣ изъ ригелей, которые находятся противъ упорныхъ подушекъ, служащихъ для соприкасанія со шкафнымъ угломъ, подвергаются еще продольному сжимающему усилю, которое является результатомъ створа полотень.

Пусть A , B , C и D суть ригеля, соответствующіе упорнымъ подушкамъ, пусть E и F —точки, дѣляція пополамъ разстоянія между ригелемъ B и ригелями A и C , и пусть L будетъ ширина полотна между его опорной точкой въ шкафной уголъ и точкой створа (черт. 141).

Давленіе N , которое испытываетъ полотно по высотѣ EF , равно

$$N = 1000 \text{ кил. } L. \text{ площ. } E E' F' F.$$

Половина этого давленія передается на шкафной уголъ,

а другая половина, слагаясь съ реакціей R другого полотна, даетъ сжимающее удиліе C вдоль ригеля B . Прямоугольные треугольники OCR и MST подобны, а потому, если назвать черезъ l половину ширины камеры и черезъ c —стрѣлу створа, можемъ написать, что

$$C = \frac{lN}{2c} = 500 \text{ кил. } \frac{L.l}{c} \cdot \text{плоч. } EE'F'F.$$

Частное отъ дѣленія этого сжимающаго усилія C на площадь поперечнаго сѣченія ригеля даетъ добавочное напряженіе, которое присоединяется къ напряженію, вызванному изгибомъ.

Поступая такимъ образомъ, мы предполагаемъ, что усиліе C дѣйствуетъ по нейтральной оси ригеля, на самомъ же дѣлѣ вслѣдствіе того, что створные брусья стесываются, усиліе это проходитъ всегда ближе къ камерѣ, чѣмъ къ верхнему бѣфу, такъ сказать, ниже нейтральной оси, а потому оно уменьшаетъ усиліе, вытягивающее ригель, и почти не увеличиваетъ сжимающаго, но мы дѣлаемъ это въ пользу прочности.

§ 56. Полотно, въ которомъ число стоекъ болѣе трехъ. Еслибы вмѣсто одной осевой стойки мы имѣли двѣ, симметрично расположенныя относительно середины полотна, то расчетъ мало отличался бы отъ вышеприведеннаго: измѣнились бы только выраженія (β) и (γ) изгибающаго момента ригелей и ихъ прогиба въ точкахъ встрѣчи со стойками. Число неизвѣстныхъ реакцій ригелей на стойки также не увеличилось бы, такъ какъ въ силу симметріи реакціи двухъ стоекъ на одинъ и тотъ же ригель были бы одинаковы.

Если мы ширину полотна обозначимъ черезъ $3a$; давленіе воды на погонный метръ, передаваемое непосредственно на K' -ый ригель, черезъ $\frac{p_k}{a}$; реакцію каждой изъ промежуточныхъ стоекъ на этотъ ригель черезъ r_k ; максимальный изгибающій моментъ по срединѣ ригеля черезъ X_k ; прогибъ K' -аго ригеля на разстояніи $\frac{1}{3}$ и $\frac{2}{3}$ его длины въ точкахъ встрѣчи со стойками черезъ $f_{k, \frac{1}{3}}$; прогибъ того же ригеля

по срединѣ черезъ $f_{k, \frac{1}{2}}$; тогда формулы (α) останутся тѣже, тогда какъ формулы (β) и (γ) примутъ видъ:

$$(\beta') \quad \dots \dots X_k = a \left(\frac{9}{8} p_k + r_k \right)$$

$$(\gamma') \quad \begin{cases} f_{k, \frac{1}{3}} = \frac{a^3}{12 E J_k} \left(11 p_k + 10 r_k \right) \\ f_{k, \frac{1}{2}} = \frac{a^3}{E J_k} \left(\frac{135}{128} p_k + \frac{23}{24} r_k \right) \end{cases}$$

Числовой примѣръ. Примѣнимъ только что приведенный пріемъ расчета къ полотну, состоящему изъ трехъ стоекъ, двухъ крайнихъ и одной осевой, и семи ригелей, расположенныхъ на равныхъ разстояніяхъ другъ отъ друга, причемъ предположимъ, что упорныя подушки расположены у ригелей № 0, 1, 3 и 6.

Имѣемъ слѣдующія данныя:

$$a = 1,451 \text{ м.}, \quad b = 1,025 \text{ м.}, \quad H = 6,209 \text{ м.}$$

Сѣченія стоекъ и ригелей, включая сюда и обшивку показаны на чертежахъ 142, 143, 144, 145, 146 и 147.

Ригель $n^0 0$

$$J = 8492,5 \times 10^{-8}$$

$$\frac{J}{n} = 547,9 \times 10^{-6}$$

$$\frac{J}{n'} = 653,3 \times 10^{-6}$$

$$\Omega = 6726 \text{ квадр. миллим.}$$

Ригель $n^0 1$ и осевая стойка

$$J = 10352,5 \times 10^{-8}$$

$$\frac{J}{n} = 672,4 \times 10^{-6}$$

$$\frac{J}{n'} = 791,6 \times 10^{-6}$$

$$\Omega = 8404,5 \text{ квадр. миллим.}$$

Ригель $n^0 2$

$$J = 10192,8 \times 10^{-8}$$

$$\frac{J}{n} = 668,4 \times 10^{-6}$$

$$\frac{J}{n'} = 775,1 \times 10^{-6}$$

$$\Omega = 8309 \text{ квадр. миллим.}$$

Ригель $n^0 3$

$$J = 10021,6 \times 10^{-8}$$

$$\frac{J}{n} = 664,6 \times 10^{-6}$$

$$\frac{J}{n'} = 758,1 \times 10^{-6}$$

$$\Omega = 8212,5 \text{ квадр. миллим.}$$

Ригель $n^0 4$

$$J = 8061,6 \times 10^{-8}$$

$$\frac{J}{n} = 537,8 \times 10^{-6}$$

$$\frac{J}{n'} = 610,3 \times 10^{-6}$$

$$\Omega = 6480 \text{ квадр. миллим.}$$

Ригели $n^0 5$ и 6

$$J = 7914,8 \times 10^{-8}$$

$$\frac{J}{n} = 354,8 \times 10^{-6}$$

$$\frac{J}{n'} = 595,1 \times 10^{-6}$$

$$\Omega = 6398 \text{ квадр. миллим.}$$

Итакъ имѣемъ $J_0 = 8492,5 \times 10^{-8}$; $J_1 = J = 10362,5 \times 10^{-8}$
 $J_2 = 10192,8 \times 10^{-8}$; $J_3 = 10021,6 \times 10^{-8}$
 $J_4 = 8061,6 \times 10^{-8}$; $J_5 = J_6 = 7914,8 \times 10^{-8}$.

Для стали прокатной имѣемъ $E = 2,25 \times 10^{10}$

$$Q = 25,374; \mu = 30,288$$

$$A_1 = 0,3525; A_2 = 0,3467; A_3 = 0,3409; A_4 = 0,2742;$$

$$A_5 = A_6 = 0,2692.$$

Что касается до продольнаго сжимающаго усилія въ ригеляхъ $n^0 0, 1, 3$ и 6 , то при $L = 3,02$ м., $l = 2,60$ м. и $c = 1,04$ м. получимъ:

$$N_0 = 9213; N_1 = 22881; N_3 = 22270; N_6 = 3849$$

$$C_0 = 11516; C_1 = 28601; C_3 = 27837; C_6 = 4811$$

$$\frac{C_0}{\Omega_0} = 1,71; \frac{C_1}{\Omega_1} = 3,40; \frac{C_3}{\Omega_3} = 3,39; \frac{C_6}{\Omega_6} = 0,75.$$

Восемь уравненій съ восемью неизвѣстными будутъ слѣдующія:

$$(1) r_1 = A_1 Q (\mu - 1) - \frac{5}{4} p_1 + A_1 \delta - A_1 r_0$$

$$(2) r_2 = 16 A_2 Q (\mu - 2) - \frac{5}{4} p_2 + 2 A_2 \delta - A_2 (8 r_0 + r_1)$$

$$(3) r_3 = 81 A_3 Q (\mu - 3) - \frac{5}{4} p_3 + 3 A_3 \delta - A_3 (27 r_0 + 8 r_1 + r_2)$$

$$(4) r_4 = 256 A_4 Q (\mu - 4) - \frac{5}{4} p_4 + 4 A_4 \delta - A_4 (64 r_0 + 27 r_1 + 8 r_2 + r_3)$$

$$(5) r_5 = 625 A_5 Q (\mu - 5) - \frac{5}{4} p_5 + 5 A_5 \delta - A_5 (125 r_0 + 64 r_1 + 27 r_2 + 8 r_3 + r_4)$$

$$(6) r_6 = 1296 A_6 Q (\mu - 6) - \frac{5}{4} p_6 + 6 A_6 \delta - A_6 (216 r_0 + 125 r_1 + 64 r_2 + 27 r_3 + 8 r_4 + r_5)$$

$$(7) r_0 + r_1 + r_2 + r_3 + r_4 + r_5 + r_6 = \frac{2}{5} Q \mu^2$$

$$(8) \quad r_1 + 2r_2 + 3r_3 + 4r_4 + 5r_5 + 6r_6 = \frac{2}{75} Q \mu^3.$$

Величины изгибающих моментов осевой стойки въ точкахъ встрѣчи съ различными ригелями получаются изъ слѣдующихъ уравненій:

$$(\epsilon_1) \quad Y_1 = b \left[r_0 - 2Q \left(\mu - \frac{5}{3} \right) \right]$$

$$(\epsilon_2) \quad Y_2 = b \left[2r_0 + r_1 - 8Q \left(\mu - \frac{10}{3} \right) \right]$$

$$(\epsilon_3) \quad Y_3 = b \left[3r_0 + 2r_1 + r_2 - 18Q \left(\mu - \frac{15}{3} \right) \right]$$

$$(\epsilon_4) \quad Y_4 = b \left[4r_0 + 3r_1 + 2r_2 + r_3 - 32Q \left(\mu - \frac{20}{3} \right) \right]$$

$$(\epsilon_5) \quad Y_5 = b \left[5r_0 + 4r_1 + 3r_2 + 2r_3 + r_4 - 50Q \left(\mu - \frac{25}{3} \right) \right]$$

$$(\epsilon_6) \quad Y_6 = b \left[6r_0 + 5r_1 + 4r_2 + 3r_3 + 2r_4 + r_5 - 72Q \left(\mu - \frac{30}{3} \right) \right]$$

Рѣшивъ вышеприведенныя 8 уравненій, мы можемъ найти численныя значенія величинъ p_k , X_k , f_k и Y_k и найти напряженія матеріала въ различныхъ элементахъ полотна. Результаты вычисленій представлены нами въ нижепомѣщенныхъ таблицѣ I и графикѣ (черт. 148).

Точки перегиба кривой (6) соотвѣтствуютъ тѣмъ точкамъ, въ которыхъ ординаты кривой (1) равны нулю, что указываетъ на правильность аналитическаго расчета.

Изъ графика видно, что полотно болѣе всего напряжено на разстояніи отъ подошвы равномъ $1/3$ высоты полотна.

ТАБЛИЦА I.

Номера ригелей.	Величины p_k . Формула (α).	Величины 8 неизвестных, а именно: δ и $r_0 \dots r_6$	Осевая стойка.		Р и г е л я.						Прогобы в милл. Формула (γ).
			Изгибающие моменты. Формула (ϵ).	Напряжения материала в килог. на кв. милл.	Изгибающие моменты. Формула (β).	напряжение материала в кил. на кв. милл.			Полное сжимающ. напряжение в верхн. части ригеля.		
						соответств. изгибу,		отъ створа.			
						вытягив. в нижней части ригеля.	сжимающ. в верхней части ригеля.			сжимающ. в верхней части ригеля.	
--	--	$\delta=19069,7$	--	--	--	--	--	--	--	--	
0	--	+3639	--	--	--	--	--	1,71	1,71	--	
1	5143	-- 727	+2241	3,33	3204	4,77	4,05	3,40	7,45	1,25	
2	4126	+2206	+1106	1,64	4594	6,87	5,93	--	5,93	1,63	
3	3109	+2474	+122	0,18	4050	6,09	5,34	3,33	8,73	1,44	
4	2092	+985	+84	0,12	2232	4,15	3,66	--	3,66	1,01	
5	1076	+733	--17	0,03	1313	2,46	2,21	--	2,21	0,59	
6	284	+25	+85	0,13	224	0,42	0,38	0,75	1,13	0,11	

§ 57. Второй случай. — Ригеля разсматриваются какъ балки, закрѣпленныя по своимъ концамъ. Всѣ замѣчанія, приведенныя въ первомъ случаѣ, сохраняютъ свою силу. Выраженія (α) остаются тѣже, что же касается выражений (β) и (γ), то они примутъ нѣсколько иной видъ ввиду того, что максимальный изгибающій моментъ, даваемый выраженіемъ (β), имѣетъ мѣсто не по срединѣ ригеля, а по его концамъ. Получимъ

$$(\beta) \dots \dots X_k = \frac{a}{12} (4 p_k + 3 r_k)$$

$$(\gamma) \dots \dots f_k = \frac{a^3}{24 E J_k} (p_k + r_k)$$

Если обозначить черезъ M_k моментъ закрѣпленія, который испытываетъ осевая стойка отъ K' -аго ригеля въ мѣстѣ

ихъ соединенія, тогда выраженіе изгибающаго момента этой стойки въ промежуткѣ между ригелями K -ымъ и $(K+1)$ -ымъ будетъ.

$$(\epsilon) Y = \Sigma_0^k M + \Sigma_1^k q (y - h') - \Sigma_0^k r (y - h) + \frac{1}{2} \frac{q_{k+1}}{b_{k+1}} (y - h_k)^2$$

Интеграль этого выраженія будетъ

$$\int Y dy = D_{k+1} + y \Sigma_0^k M + \frac{1}{2} \Sigma_1^k q (y - h')^2 - \\ - \frac{1}{2} \Sigma_0^k r (y - h)^2 + \frac{1}{6} \frac{q_{k+1}}{b_{k+1}} (y - h_k)^3.$$

Этотъ интеграль, будучи умноженъ на $\frac{1}{EJ}$, даетъ наклонъ касательной къ кривой изгиба оси стойки въ томъ же интервалѣ. Въ точкахъ встрѣчи съ K -ымъ и $(K+1)$ -ымъ ригелями касательная эта—вертикальна, а потому и вышеприведенный интеграль обращается въ нуль при $y = h_k$ и при $y = h_{k+1}$. Такимъ образомъ, принимая во вниманіе, что $h_{k+1} - h_k = b_{k+1}$, можемъ написать:

$$D_{k+1} + h_{k+1} \Sigma_0^k M + \frac{1}{2} \Sigma_1^k q (h_{k+1} - h')^2 - \\ - \frac{1}{2} \Sigma_0^k r (h_{k+1} - h)^2 + \frac{1}{6} q_{k+1} b_{k+1}^2 = 0$$

и

$$D_{k+1} + h_k \Sigma_0^k M + \frac{1}{2} \Sigma_1^k q (h_k - h')^2 - \frac{1}{2} \Sigma_0^k r (h_k - h)^2 = 0$$

Эти два уравненія опредѣляютъ D_{k+1} и $\Sigma_0^k M$:

$$\Sigma_0^k M = - \frac{1}{2} \Sigma_1^k q (b_{k+1} + 2 h_k - 2 h') + \frac{1}{2} \Sigma_0^k r (b_{k+1} + 2 h_k - 2 h) - \\ - \frac{1}{6} q_{k+1} b_{k+1}$$

$$D_{k+1} = \frac{1}{2} \Sigma_1^k q (b_{k+1} h_k + h_k^2 - h'^2) - \frac{1}{2} \Sigma_0^k r (b_{k+1} h + h_k^2 - h^2) + \\ + \frac{1}{6} q_{k+1} h_k b_{k+1}$$

Подставляя въ Y и $\int Y dy$ вмѣсто $\Sigma_0^k M$ и D_{k+1} послѣднія выраженія, получимъ:

$$Y = (y - h'_{k+1}) (\Sigma_1^k q - \Sigma_0^k r) + \frac{1}{2} \frac{q_{k+1}}{b_{k+1}} (y - h_k)^2 - \frac{1}{6} q_{k+1} b_{k+1}$$

$$\int Y dy = \frac{1}{2} [(y - h_k)^2 - b_{k+1} (y - h_k)] (\Sigma_1^k q - \Sigma_0^k r) + \frac{1}{6} \frac{q_{k+1}}{b_{k+1}} \times$$

$$\times [(y - h_k)^3 - b_{k+1}^2 (y - h_k)].$$

Возьмемъ теперь двойной интегралъ изгибающаго момента; получимъ;

$$\iint Y dy dy = C_{k+1} + \frac{1}{24} \left\{ [4 (y - h_k)^3 - 6 b_{k+1} (y - h_k)^2] \times \right.$$

$$\left. \times (\Sigma_1^k q - \Sigma_0^k r) + \frac{q_{k+1}}{b_{k+1}} [(y - h_k)^4 - 2 b_{k+1}^2 (y - h_k)^2] \right\}.$$

Этотъ интегралъ, будучи умноженъ на $\frac{1}{EJ}$, даетъ величину прогиба въ $(K+1)$ -ой панели, причемъ прогибы f_{k+1} и f_k получатся, если принять $y = h_{k+1}$ и $y = h_k$. Получимъ:

$$f_{k+1} = \frac{a^3}{24 EJ_{k+1}} (p_{k+1} + r_{k+1}) = \frac{C_{k+1}}{EJ} - \frac{b_{k+1}^3}{24 EJ} [q_{k+1} + 2 (\Sigma_1^k q - \Sigma_0^k r)],$$

$$f_k = \frac{a^3}{24 EJ_k} (p_k + r_k) = \frac{C_{k+1}}{EJ}.$$

Вычитая почленно эти равенства одно изъ другого, получимъ

$$f_{k+1} - f_k = \frac{a^3}{24 E} \left(\frac{p_{k+1} + r_{k+1}}{J_{k+1}} - \frac{p_k + r_k}{J_k} \right) =$$

$$= \frac{b_{k+1}^3}{24 EJ} [2 (\Sigma_0^k r - \Sigma_1^k q) - q_{k+1}],$$

откуда уравненіе $(k+1)$ -ое:

$$\frac{a^3 J}{2 b_{k+1}^3 J_{k+1}} r_{k+1} = \frac{a^3 J}{2 b_{k+1}^3} \left(\frac{p_k}{J_k} - \frac{p_{k+1}}{J_{k+1}} \right) - \frac{q_{k+1}}{2} - \\ - \sum_1^k q + r_0 + r_1 + \dots + r_k + \frac{a^3 J}{2 b_{k+1}^3 J_k} r_k.$$

Въ частномъ случаѣ, для первой панели, слѣдуетъ замѣтить, что $C_1 = EJ f_0$, а потому

$$f_1 = \frac{a^3}{24 EJ_1} (p_1 + r_1) = - \frac{b_1^3}{24 EJ} (q_1 - 2 r_0),$$

откуда

$$\frac{a^3 J}{2 b_1^3 J_1} r_1 = - \frac{a^3 J}{2 b_1^3} \cdot \frac{p_1}{J_1} - \frac{q_1}{2} + r_0.$$

Это выраженіе для r_1 можно получить изъ общаго выраженія $(k+1)$ величины r_{k+1} , если въ немъ принять J_0 равнымъ безконечности; допустить такое предположеніе мы можемъ потому, что ригель $n^0 0$, упиравъ по всей длинѣ въ король, не можетъ изгибаться, что равносильно допущенію, что онъ обладаетъ безконечно большимъ моментомъ сопротивленія.

Давая въ выраженіи $(k+1)$ мъ k значенія отъ 0 до $(n-1)$, мы получимъ n уравненій первой степени съ $(n+1)$ неизвѣстными—реакціями $r_0, r_1, r_2, \dots, r_n$.

$(n+1)$ -ое уравненіе получится такъ-же, какъ и въ первомъ разсмотрѣнномъ уже случаѣ, а именно:

$$(n+1) \dots \dots \dots \Sigma_0^n r = \Sigma_1^n q.$$

Мы не будемъ пользоваться $(n+2)$ -ымъ уравненіемъ, выражающимъ, что сумма моментовъ относительно основанія полотна равна нулю, такъ какъ это уравненіе служитъ только для опредѣленія величины $\Sigma_0^n M$, зная которую не представляетъ необходимости.

Коль скоро реакціи r_0, r_1, \dots, r_n опредѣлены посредствомъ указанныхъ выше $(n+1)$ уравненій первой степени, мы можемъ опредѣлить и максимальные изгибающіе моменты ригелей и ихъ прогибъ по формуламъ (β) и (γ). Изгибающіе

моменты осевой стойки въ точкахъ пересѣченія ея съ ригелями и по срединѣ панелей получаютъ изъ помѣщенныхъ ниже формулъ (ε), которыя выведены непосредственно изъ выраженія y , если въ немъ принять $y=h_k$, $y=h'_{k+1}$ и $y=h_{k+1}$, причемъ k здѣсь варьируетъ отъ 0 до $(n-1)$

$$(\varepsilon) \quad \left\{ \begin{array}{l} -Y_k = \frac{b_{k+1}}{6} [q_{k+1} + 3 \Sigma_1^k q - 3 \Sigma_0^k r] \\ -Y_{k+\frac{1}{2}} = \frac{b_{k+1} q_{k+1}}{24} \\ -Y_{k+1} = \frac{b_{k+1}}{6} [3 \Sigma_0^k r - 2 q_{k+1} - 3 \Sigma_1^k q] \end{array} \right.$$

Наконецъ мы можемъ получить излишекъ прогиба осевой стойки по срединѣ каждой панели надъ среднею арифметической прогибовъ по краямъ этой панели, по слѣдующей формулѣ:

$$f_{k+\frac{1}{2}} - \frac{f_{k+1} + f_k}{2} = \frac{b_{k+1}^3 q_{k+1}}{384 EJ}.$$

§ 58. Полотно съ тремя стойками и равноотстоящими другъ отъ друга ригелями. Если ригеля отстоятъ на равныхъ разстоянiяхъ другъ отъ друга, то изгибающій моментъ для любой точки $(K+1)$ -ой панели, подобно тому какъ и въ первомъ случаѣ, выразится слѣдующимъ образомъ:

$$Y = \frac{1000 a b^2}{a^2 + b^2} \left(\frac{H y^2}{2} - \frac{y^3}{6} \right) - y \Sigma_0^k r + \Sigma_1^k h r + \Sigma_0^k M,$$

или, обозначивъ

$$50 \cdot \frac{a b^4}{a^2 + b^2} = Q; \quad \frac{J_k}{J} \cdot \frac{b^3}{a^3} = A_k; \quad \frac{5 H}{b} = \mu$$

и кромѣ того $y=bz$, получимъ

$$Y = \frac{b}{6} \left[Q (12 \mu z^2 - 20 z^3) - 6 z \Sigma_0^k r + \frac{6}{b} (\Sigma_1^k h r + \Sigma_0^k M) \right].$$

Возьмемъ интегралъ этого выраженія, обозначивъ постоянную интегрированія черезъ D_{k+1}

$$\int Y dy = \int Y b dz = \frac{b^2}{6} \left[Q(4\mu z^3 - 5z^4) - 3z^2 \Sigma_0^k r + \right. \\ \left. + \frac{6z}{b} (\Sigma_1^k h r + \Sigma_0^k M) + D_{k+1} \right].$$

Этотъ интегралъ, будучи умноженъ на $\frac{1}{EJ}$, даетъ наклонъ касательной къ кривой изгиба осевой стойки, а потому онъ обращается въ нуль при значеніяхъ $z=k$ и $z=k+1$.

Итакъ

$$Q(4\mu k^3 - 5k^4) - 3k^2 \Sigma_0^k r + \frac{6k}{b} (\Sigma_1^k h r + \Sigma_0^k M) + D_{k+1} = 0$$

$$Q[4\mu (k+1)^3 - 5(k+1)^4] - 3(k+1)^2 \Sigma_0^k r + \\ + \frac{6(k+1)}{b} (\Sigma_1^k h r + \Sigma_0^k M) + D_{k+1} = 0.$$

Изъ этихъ двухъ равенствъ получаемъ слѣдующія:

$$\frac{6}{b} [\Sigma_1^k h r + \Sigma_0^k M] = -Q[4\mu (3k^2 + 3k + 1) - \\ - 5(4k^3 + 6k^2 + 4k + 1)] + 3(2k+1) \Sigma_0^k r$$

и

$$D_{k+1} = k(k+1) \{ Q[4\mu (2k+1) - 5(3k^2 + 3k + 1)] - 3 \Sigma_0^k r \}.$$

Подставляя вмѣсто $(\Sigma_1^k h r + \Sigma_0^k M)$ и D_{k+1} равныя имъ выраженія въ Y и $\int Y dy$, получимъ:

$$Y = \frac{b}{6} \left\{ Q[4\mu (3z^2 - 3k^2 - 3k - 1) - 5(4z^3 - 4k^3 - 6k^2 - 4k - 1)] - \right. \\ \left. - 3[2z - 2k - 1] \Sigma_0^k r \right\},$$

$$\int Y dy = \frac{b^2}{6} \left\{ Q \left[4\mu [z^3 - (3k^2 + 3k + 1)z + k(k+1)(2k+1)] - \right. \right. \\ \left. - 5 [z^4 - (4k^3 + 6k^2 + 4k + 1)z + k(k+1)(3k^2 + 3k + 1)] \right] - \\ \left. - 3 [z^2 - (2k+1)z + k(k+1)] \Sigma_0^k r \right\}.$$

Возьмемъ теперь двойной интеграль $Y'a$, обозначивъ постоянную интегрированія черезъ C_{k+1} .

$$\iint Y dy dy = \frac{2b^3}{24} \left\{ Q \left[2\mu [z^4 - 2(3k^2 + 3k + 1)z^2 + 4k(k+1)(2k+1)z] - \right. \right. \\ \left. - 2z^5 + 5(4k^3 + 6k^2 + 4k + 1)z^2 - 10k(k+1)(3k^2 + 3k + 1)z \right] - \\ \left. - [2z^3 - 3(2k+1)z^2 + 6k(k+1)z] \Sigma_0^k r + C_{k+1} \right\}.$$

Интеграль этотъ, будучи умноженъ на $\frac{1}{EJ}$, дасть уравненіе упругой линіи осевой стойки въ $(K+1)$ -ой панели, а потому, если мы примемъ въ немъ $z = k$ и $z = k+1$, то получимъ прогибы стойки въ мѣстахъ встрѣчи съ K -ымъ и $(K+1)$ -ымъ ригелями. Приравнивая ихъ наибольшимъ прогибамъ f_k и f_{k+1} указанныхъ ригелей, получимъ слѣдующія равенства:

$$\frac{p_k + r_k}{2A_k} = k^2 \left\{ Q [2\mu (3k^2 + 6k + 2) - (12k^3 + 30k^2 + 20k + 5)] - \right. \\ \left. - (2k + 3) \Sigma_0^k r \right\} + C_{k+1}$$

$$\frac{p_{k+1} + r_{k+1}}{2A_{k+1}} = (k+1)^2 \left\{ Q [2\mu (3k^2 - 1) - (12k^3 + 6k^2 - 4k - 3)] - \right. \\ \left. - 2(k-1) \Sigma_0^k r \right\} + C_{k+1}.$$

Вычитая эти два равенства почленно одно изъ другого, получимъ:

$$(k+1) \dots \frac{r_{k+1}}{2 A_{k+1}} = Q[10 k(k+1) + 3 - 2 \mu(2 k+1)] + \\ + \frac{p_k}{2 A_k} - \frac{p_{k+1}}{2 A_{k+1}} + r_0 + r_1 + \dots + r_k + \frac{r_k}{2 A_k}.$$

Уравнение это применимо и къ первой панели, если принять $A_0 = \infty$.

Давая въ уравнении $(k+1)$ -омъ k значеніе отъ 0 до $(n-1)$, получимъ n уравнений. Къ нимъ можемъ присоединить $(n+1)$ -ое уравненіе:

$$(n+1) \dots \dots \dots \Sigma_0^n r = \frac{2}{5} Q \mu^2.$$

Эти $(n+1)$ уравнений опредѣляютъ реакціи $r_0, r_1, r_2 \dots r_n$. Формулы (β) и (γ) даютъ максимальные изгибающіе моменты ригелей и ихъ прогибы. Изгибающіе моменты осевой стойки по концамъ и срединѣ каждой панели получаются изъ выраженія Y -а путемъ подстановки въ немъ $z = k$; $z = k + \frac{1}{2}$ и $z = k+1$.

$$(\varepsilon) \begin{cases} -Y_k = \frac{b}{6} \{Q[4\mu(3k+1) - 5(6k^2+4k+1)] - 3\Sigma_0^k r\} \\ -Y_{k+\frac{1}{2}} = \frac{Qb}{6} \left[\mu - 5\left(k + \frac{1}{2}\right) \right] \\ -Y_{k+1} = \frac{b}{6} \{Q[5(6k^2+8k+3) - 4\mu(3k+2)] + 3\Sigma_0^k r\} \end{cases}$$

Наконецъ мы можемъ получить излишекъ изгиба осевой стойки по срединѣ панели надъ среднею арифметическою прогибовъ по краямъ этой панели по слѣдующей формулѣ.

$$f_{k+\frac{1}{2}} - \frac{f_{k+1} + f_k}{2} = \frac{Qb^3}{192 EJ} [2\mu - 5(2k+1)].$$

§ 59. Полотно съ 4-мя равноотстоящими стойками.

Если мы ширину полотна обозначимъ черезъ $3a$; давление воды на погонный метръ, передаваемое непосредственно на K -ый ригель, черезъ $\frac{p_k}{a}$; реакцію каждой изъ промежуточныхъ стоекъ на этотъ ригель черезъ r_k ; максимальный изгибающій моментъ по концамъ ригеля черезъ X_k ; прогибъ K -аго ригеля на разстояніи $\frac{1}{3}$ и $\frac{2}{3}$ его длины въ точкахъ встрѣчи со стойками черезъ $f_{k\frac{1}{3}}$; прогибъ того же ригеля по срединѣ черезъ $f_{k\frac{1}{2}}$; то формулы (α) останутся тѣже, что и въ первомъ случаѣ, тогда какъ формулы (β) и (γ) примутъ видъ:

$$(\beta') \dots\dots\dots X_k = a \left(\frac{3}{4} p_k + \frac{2}{3} r_k \right)$$

$$(\gamma') \dots\dots\dots \begin{cases} f_{k\frac{1}{3}} = \frac{a^3}{6 E J_k} (p_k + r_k) \\ f_{k\frac{1}{2}} = \frac{a^3}{E J_k} \left(\frac{27}{128} p_k + \frac{5}{24} r_k \right) \end{cases}$$

Числовой примѣръ. Разсмотримъ тотъ же числовой примѣръ, который мы брали выше, но только примѣнимъ къ нему формулы, относящіяся ко второму случаю.

Семь уравненій съ семью неизвѣстными будутъ:

$$(1) \dots\dots \frac{r_1}{2 A_1} = Q(3 - 2\mu) - \frac{p_1}{2 A_1} + r_0$$

$$(2) \dots\dots \frac{r_2}{2 A_2} = Q(23 - 6\mu) + \frac{p_1}{2 A_1} - \frac{p_2}{2 A_2} + r_0 + r_1 + \frac{r_1}{2 A_1}$$

$$(3) \dots\dots \frac{r_3}{2 A_3} = Q(63 - 10\mu) + \frac{p_2}{2 A_2} - \frac{p_3}{2 A_3} + r_0 + r_1 + r_2 + \frac{r_2}{2 A_2}$$

$$(4) \dots \frac{r_4}{2A_4} = Q(123 - 14\mu) + \frac{p_3}{2A_3} - \frac{p_4}{2A_4} + r_0 + r_1 + r_2 + r_3 + \frac{r_3}{2A_3}$$

$$(5) \dots \frac{r_5}{2A_5} = Q(203 - 18\mu) + \frac{p_4}{2A_4} - \frac{p_5}{2A_5} + r_0 + r_1 + \\ + r_2 + r_3 + r_4 + \frac{r_4}{2A_4}$$

$$(6) \dots \frac{r_6}{2A_6} = Q(303 - 22\mu) + \frac{p_5}{2A_5} - \frac{p_6}{2A_6} + r_0 + r_1 + r_2 + \\ + r_3 + r_4 + r_5 + \frac{r_5}{2A_5}$$

$$(7) \dots r_0 + r_1 + r_2 + r_3 + r_4 + r_5 + r_6 = \frac{2}{5} Q\mu^2.$$

Продольныя сжимающія усилія въ ригеляхъ, соотвѣтствующія створу, остаются тѣже, что и въ первомъ случаѣ.

Результаты расчетовъ помѣщены на графикѣ изображен. на черт. 149 и таблицѣ № II.

Точки перегиба кривой (6) соотвѣтствуютъ тѣмъ точкамъ, въ которыхъ ординаты кривой (1) или равны нулю, или внезапно мѣняютъ знакъ по отношенію къ ригелю.

Сравнивая настоящій графикъ съ тѣмъ, который построенъ для перваго случая, мы видимъ, что во второмъ случаѣ ригеля оказываются менѣе напряженными, за то стойка оказывается гораздо болѣе напряженной, чѣмъ въ первомъ случаѣ.

ТАБЛИЦА II.

Номера ригелей.	Величи- ны p_k (Форму- ла α).	Величи- ны 7 не- извѣстн. въ уравн. отъ (1) до (7): r_0, r_1, \dots, r_6	Величи- ны $\sum_0^k r_i$	Осевая стойка.		Р и г е л я.					Прибыль въ милли- метр. (Форму- ла γ).	$f_{k+1} + f_k$ — f_{k+2}	
				Изгибаю- щие моменты (Формула ϵ).	Напря- женіе матери- ала въ килогр. на кв. милл.	Изгиба- ющие моменты. (Форму- ла β).	Напряженіе материала въ кил. на кв. милл.						
							соотвѣстн. гибу.	Вліяніе створа.	Попное сжимаю- щее напря- женіе въ верхней части ри- геля.				
									ростигив. въ нижней части ри- геля.	сжимающ. въ верхней части ри- геля.			сжимающ. въ верхней части ри- геля.
0	—	+6707,8	+6707,8	—2934,2 + 120,8	4,36 0,18	—	—	1,71	1,71	—	— 0,00339		
1	5143	—1444	+5263,8	{ +2452,4 — 835,5	3,65 1,24	+1963,7	2,92	2,48	5,88	0,202	0,00278		
$1 + \frac{1}{2}$				+ 99,1	0,15	+2129,6	3,19	2,75	—	0,250			
2	4126	+369,4	+5633,2	{ +440,3 + 73,9	0,65 0,11	+1867,4	2,81	2,46	3,39	0,232	0,00217		
$2 + \frac{1}{2}$				+ 77,3	0,12	+1253,1	2,33	2,05	5,85	0,193	0,00156		
3	3109	+1002,5	+6635,7	{ — 382,3 + 398,7	0,57 0,59	+ 842,2	1,57	1,42	—	0,140	0,00095		
$3 + \frac{1}{2}$				+ 59,9	0,09	+ 544,9	1,02	0,92	—	0,101			
4	2092	+665	+7300,7	{ — 620,4 + 636,4	0,92 0,95								
$4 + \frac{1}{2}$				+ 38,2	0,06								
5	1076	+896,9	+8187,6	{ — 771,4 + 500,2	1,15 0,74								
$5 + \frac{1}{2}$				+ 16,5	0,02								
6	284	+1123,5	+9311	— 548,6	0,82								

§ 60. Деревянные шлюзные ворота. Наиболее распространенным типом деревянных ворот у насъ въ Россіи являются такъ называемыя „брусчатые“ ворота, а потому мы и позволимъ себѣ остановиться на описаніи ихъ конструкціи.

Брусчатые полотна *) состоятъ изъ ряда горизонтальныхъ брусевъ, принимающихъ непосредственно давленіе воды и расположенныхъ по высотѣ воротъ $H + 0,39$ саж., гдѣ H представляетъ высоту напора надъ королемъ, $0,30$ саж., — возвышеніе верха воротъ надъ подпорнымъ горизонтомъ и $0,09$ саж. — представляетъ ту величину, на которую нижній рамный ригель опущенъ ниже короля для опоры на усовикъ. Нижняя рама, или ригель, опирающаяся по всей своей длинѣ на усовикъ короля, не подвержена изгибу, верхняя же рама вовсе не принимаетъ давленія воды, а потому онѣ дѣлаются для всѣхъ напоровъ изъ 10-тивершковаго лѣса размѣрами $0,12 \times 0,16$ саж. Всѣ же остальные брусья получаютъ размѣры въ зависимости отъ напора, который они должны выдерживать; брусья соединены между собою гребнемъ и пазомъ, причемъ гребень дѣлается на верхней сторонѣ бруса, а пазъ на нижней; исключеніе составляютъ самые верхніе болѣе тонкіе брусья, въ которыхъ не дѣлается вовсе гребня и паза. Соединеніе гребнемъ и пазомъ, кромѣ равномерности взаимной передачи давленія между брусьями, дѣлается для увеличенія водонепроницаемости въ плоскостяхъ сплотки брусевъ; для той же цѣли между брусьями прокладывается также смоленный войлокъ. Гребни и пазы дѣлаются сѣченіемъ $0,02 \times 0,02$ саж.; они не доходятъ до концовъ брусевъ на $0,12$ саж., чтобы предотвратить возможность просачиванія воды вдоль гребня. Впрочемъ дальнѣйшая практика брусчатыхъ воротъ показала, что водонепроницаемость воротъ можетъ быть достигнута и безъ гребней и пазовъ посредствомъ одной только самой тщательной притески постелей брусевъ. Для взаимной же передачи брусьями давленія въ нихъ дѣлаются вставные шипы, размѣщенные въ шахматномъ порядкѣ въ

*) Конструкціи мы не помѣщаемъ въ атласъ чертежей потому, что она помѣщена въ курсѣ водяныхъ сообщеній проф. Зброжека.

плоскости, приближающейся къ подпорной сторонѣ, тогда какъ гребень и пазъ располагаются ближе къ противоположной сторонѣ. Брусья по всей высотѣ воротъ въ отвѣсномъ направленіи связаны 4-мя винтовыми болтами діаметромъ 1,5 дюйм., проходящими сквозь щитовые телята, которые помѣщены между надщитовымъ брусомъ и нижнимъ ригелемъ. По концамъ у створа и веревъ брусья скрѣплены сжимами, расположенными съ обѣихъ сторонъ въ видѣ схватокъ, толщиной 4 дюйм. каждый; они стянуты черезъ одинъ брусъ винтовыми болтами въ $\frac{3}{4}$ ", а съ промежуточными брусьями скрѣплены съ обѣихъ сторонъ двумя шурупами длиною 7 дм., толщиной $\frac{5}{8}$ ", расположенными діагонально.

Пространство между надщитовымъ брусомъ и нижнимъ ригелемъ раздѣляется телятами на три части по числу щитовъ.

Для предупрежденія провисанія полотень съ обѣихъ сторонъ расположены діагональныя желѣзныя полосы, прикрѣпленныя внизу двумя $\frac{3}{4}$ " болтами къ планкѣ изъ котельнаго желѣза толщ. $\frac{3}{8}$ ", которая въ свою очередь прикрѣплена посредствомъ шуруповъ къ брусу, лежащему выше надщитового. Со стороны подпора во избѣжаніе задѣванія діагональной полосы судами, ее врѣзаютъ заодно съ выступающими брусьями. Въ верхней части каждая полоса имѣетъ муфту съ винтами для подтягиванія. Вверху полосы прикрѣпляются тоже двумя болтами, пронуженными сквозь верхній рамный брусъ.

Что касается до воротъ ригельныхъ, то практика русскихъ строителей показала, что эти ворота представляюгъ много чисто конструктивныхъ затрудненій и не отличаются продолжительной службой. Заграницей, повидимому, держатся нѣсколько иного взгляда, что можно видѣть изъ того, что тамъ строили по этому типу ворота сравнительно въ недавнее время, какъ напримѣръ на рѣкѣ Іоннѣ фототипія № 5. А. (въ 1895 г.) и на Масѣ (фототипія № 5. В. (въ 1893 г.).

§ 61. Сравненіе шлюзныхъ воротъ деревянныхъ, металлическихъ и смѣшаннаго типа. Если мы будемъ сравни-

вать только ворота двустворчатые, какъ чаще всего встрѣчающіяся на практикѣ, и обратимъ вниманіе на стоимость ремонта, то придемъ къ заключенію, что ворота смѣшаннаго типа требуютъ болѣе дорогого ремонта, чѣмъ желѣзныя, а эти послѣднія въ свою очередь оказываются дороже по ремонту воротъ деревянныхъ, а потому этимъ послѣднимъ еще на долгіе годы суждено играть важную роль на судоходныхъ путяхъ съ малымъ живымъ сѣченіемъ и сравнительно съ небольшимъ грузооборотомъ, гдѣ болѣе частое возобновленіе подобныхъ сооружений не можетъ вызывать серьезныхъ стѣсненій для судоходства.

Но если размѣры шлюзовъ—велики, если нужно построить сразу большое число воротъ, наконецъ если грузооборотъ судоходнаго пути настолько значителенъ, что продолжительность службы сооружений представляетъ вопросъ капитальной важности, то предпочтительнѣе остановиться на желѣзныхъ воротахъ, или по крайней мѣрѣ самый остоѵ воротъ дѣлать изъ желѣза.

Въ самомъ дѣлѣ, по мѣрѣ увеличенія требуемыхъ размѣровъ лѣса, этотъ послѣдній не только сильно поднимается въ цѣнѣ, но иногда даже трудно его и достать, что особенно важно при необходимости имѣть большое его количество, что же касается до желѣза, то, очевидно, что не представляетъ никакого затрудненія получить балки любого потребнаго размѣра. Съ другой стороны, въ деревянныхъ воротахъ большую трудность представляетъ скрѣпленіе отдѣльныхъ элементовъ,—затрудненіе, которое легко устраняется въ конструкціяхъ желѣзныхъ.

Разсмотримъ теперь вопросъ объ обшивкѣ.

Противъ желѣзной обшивки прежде выставялся тотъ доводъ, что она легко повреждается отъ ударовъ судовъ, но, какъ показали внимательныя наблюденія, упрекъ этотъ совершенно несправедливъ, а потому остается только одно, крупное правда, неудобство желѣзной обшивки, состоящее въ томъ, что ремонтъ ея можно поручать только опытнымъ мастерамъ, а таковыхъ далеко не всегда можно имѣть въ мѣстахъ, гдѣ обыкновенно устраиваютъ шлюзы, тогда какъ съ

мелкимъ ремонтомъ деревянной обшивки можетъ справиться всегда сторожъ при шлюзѣ. Этому обстоятельству въ значительной мѣрѣ можно приписать распространенность воротъ смѣшаннаго типа, несмотря на то что они, какъ мы видѣли выше, требуютъ болѣе дорогого ремонта, чѣмъ ворота деревянные и желѣзные.

Механизмы воротъ.

§ 62. Пята съ пятникомъ. Ранѣе мы уже указали въ § 2, что при вращеніи какъ желѣзныхъ, такъ и деревянныхъ воротъ веревальный столбъ вовсе не соприкасается съ угломъ шкафа; въ противномъ случаѣ трущіяся части изнашивались бы очень быстро. Въ тѣхъ случаяхъ, когда въ закрытомъ состояніи воротъ веревальный столбъ по всей длинѣ соприкасается съ угломъ шкафа (см. черт. 116—120), ось вращенія воротъ устанавливается такимъ образомъ; чтобы она не совпадала съ осью веревальнаго столба; благодаря этой эксцентричности между открытыми воротами и шкафомъ получается зазоръ 18—25 мм. Если веревальный столбъ опирается на стѣну только въ нѣсколькихъ точкахъ, то опять надо позаботиться о томъ, чтобы соприкасаніе упорныхъ частей прекращалось въ самомъ началѣ вращенія воротъ. Чтобы убѣдиться въ томъ, что точка вращенія въ планѣ назначена правильно, надо провести радіусы къ крайнимъ точкамъ плоскости соприкасанія и возстановить къ этимъ радіусамъ перпендикуляры; получаемые перпендикуляры дадутъ направленіе движенія въ первый моментъ вращенія. Отсюда будетъ видно, прекратится ли соприкасаніе частей при этомъ движеніи.

Полотно воротъ внизу опирается при помощи пятника, прикрѣпленнаго къ нижнему концу веревальнаго столба, на пята (deut. der Spurzapfen, franz. la crapaudine, engl. the pivot.), закрѣпленную въ полъ или флютбетъ шлюза.

При конструированіи пяты надо обращать вниманіе на то, чтобы она могла сопротивляться какъ вертикальнымъ, такъ и горизонтальнымъ усиліямъ, и передавать послѣднія на полъ шлюза. Вертикальное давленіе на пята равно вѣсу полотна воротъ за вычетомъ вѣса вытѣсненной воды. Въ закрытомъ состояніи воротъ горизонтальное усиліе можно прямо передать на стѣны при помощи особыхъ опорныхъ подушекъ, какъ показано на черт. 150; во время же вращенія очень трудно освободить пята отъ воздѣйствія на нее горизонтальнаго давленія, такъ что пята приходится рассчитывать на совмѣстное дѣйствіе вертикальнаго усилія V и горизонтальнаго Z .

Расчетъ цилиндрической пяты. Діаметръ пяты $= d$, высота $= c$. Въ самомъ невыгодномъ случаѣ сила Z будетъ приложена къ верхнему концу пяты. Наибольшій моментъ въ нижнемъ концѣ $M = Zc$ и наибольшее напряженіе (черт. 151)

$$N_1 = \frac{32 M}{d^3 \cdot \pi} = \frac{32 Z c}{d^3 \cdot \pi}.$$

Кромѣ того имѣется продольное напряженіе, постоянное во всѣхъ сѣченіяхъ:

$$N_2 = \frac{4 V}{d^2 \cdot \pi}.$$

Если не принимать во вниманіе скалывающаго напряженія отъ поперечной силы Z , то при допускаемомъ напряженіи K необходимое сѣченіе опредѣлится изъ условія:

$$K = \frac{32 Z c}{d^3 \pi} + \frac{4 V}{d^2 \cdot \pi} \quad \dots \dots \dots (1)$$

Въ виду того, что при быстромъ вращеніи воротъ возможны удары, допускаемое напряженіе K должно быть не велико:

для сварочнаго желѣза $K =$ отъ 500 до 700 kg./cm².

„ незакаленной стали $K = 750$ kg./cm².

При проектированіи большихъ воротъ слѣдуетъ убѣдиться расчетомъ въ томъ, что главные и приведенныя напряженія не превосходятъ допускаемаго предѣла.

Въ произвольномъ мѣстѣ поперечнаго сѣченія на разстояніи $y = r \cdot \sin \varphi$ отъ центра тяжести скалывающее напряжение $T = \frac{Q S}{J}$, гдѣ S означаетъ статическій моментъ заштрихованной части (черт. 151), при $Q = Z$ имѣемъ.

$$T = \frac{Z \cdot \frac{2}{3} r^3 \cos^3 \varphi}{\frac{d^4 \cdot \pi}{64}} = \frac{16}{3} Z \frac{\cos^3 \varphi}{d \pi}.$$

Въ этомъ мѣстѣ продольное напряженіе

$$N = \frac{4 V}{d^2 \pi} + \frac{32 Z c \sin \varphi}{d^3 \pi}.$$

Главные напряжения A и соотвѣтственно B будутъ:

$$\left. \begin{matrix} A \\ B \end{matrix} \right\} = \frac{N}{2} \pm \sqrt{\frac{1}{2} N^2 + 4 T^2}.$$

При отношеніи удлиненія къ поперечному сжатію $m = 4$ приведенное напряженіе *)

$$\sigma = \frac{3}{8} N \pm \frac{5}{8} \sqrt{N^2 + 4 T^2}$$

при $m = 3$

$$\sigma = \frac{1}{3} N \pm \frac{2}{3} \sqrt{N^2 + 4 T^2}.$$

При расчетѣ полезно сначала для перваго приближенія опредѣлить діаметръ цапфы, исходя изъ формулы $K = \frac{32 Z c}{d^3 \pi}$, а потомъ уже провѣрить сѣченіе, принимая во вниманіе и продольное усиліе V .

*) См. „Теорія сопротивленія матеріаловъ“ Förppl'a въ переводѣ инженера Бубликова ст. 61.

Не слѣдуетъ дѣлать пята слишкомъ высокой, такъ какъ съ увеличеніемъ высоты ея возрастаетъ и моментъ, изгибающій ее. Обыкновенно углубленіе въ пятникѣ т. е. разстояніе нижней грани его до верха пята дѣлается отъ 50 до 60 мм. Свободная длина пята отъ начала опорной плиты до пятника бываетъ отъ 40 до 100 мм. и болѣе. Не слѣдуетъ дѣлать эту часть слишкомъ малой, такъ какъ сюда могутъ попадать постороннія тѣла, что будетъ затруднять вращеніе воротъ.

Пятникъ и пята дѣлаются изъ чугуна, кованого желѣза и стали. Чугунъ примѣняется главнымъ образомъ для небольшихъ воротъ.

Пята обыкновенно ставится внизу, пятникъ прикрѣпляется къ веревальному столбу, дѣлается это потому, что при обратномъ расположеніи въ пятникѣ могли бы попадать грязь и песокъ, вслѣдствіе чего затруднялось бы вращеніе, и трущіяся части быстро изнашивались бы. Для воротъ небольшой и средней величины пята отливается вмѣстѣ съ опорной плитой (черт. 150). Последняя должна имѣть въ планѣ такіе размѣры, чтобы давленіе на камень не превосходило допускаемаго напряженія. Для большихъ воротъ слѣдуетъ дѣлать отдѣльно пятникъ изъ стали и листового желѣза и опорную плиту изъ чугуна или стали, какъ показано на черт. 152, 153, 154 и 155.

Весьма рационально дѣлать желѣзныя и стальные пята слегка коническими и вставлять ихъ въ отверстія, выточенные въ плитѣ по тому же конусу. Для предупрежденія вращенія пята, на послѣдней дѣлаются съ діаметрально противоположныхъ сторонъ выступы, которые входятъ въ гнѣзда, сдѣланные въ плитѣ (черт. 155). Такія пята въ случаѣ необходимости можно легко вынуть и замѣнить новыми. Часто на плитѣ дѣлаются реборды въ формѣ угла шкафа (черт. 154 и 155). Иногда плиты вовсе не дѣлаютъ, а пята закрепляютъ прямо въ камень (черт. 156): возможно это въ томъ случаѣ, если имѣется камень очень хорошаго качества и давленіе на пята, напримѣръ при плавучихъ затворахъ, не велико. Плита заливается въ камень свинцомъ или цементомъ и закрепляется болтами. При заливкѣ надо заботиться о томъ, чтобы воз-

духъ могъ свободно выходить изъ подъ плиты. Для этого въ средней части послѣдней дѣлается нѣсколько небольшихъ отверстій.

Пятники также дѣлаются цѣльные или составные. На черт. 150, 151, и 152 показаны чугунные пятники. Пятникъ, представленный на черт. 153 состоитъ изъ трехъ частей: верхняя часть *b* сдѣлана изъ кованаго желѣза, плита *c*, которая опирается на пята, изъ стали; кольцо *d* соединяется съ частями *b* и *c* при помощи заклепокъ. На чертежѣ 154 представленъ стальной пятникъ. Здѣсь пята на верху оканчивается шаровой поверхностью; углубленіе пятника дѣлается такой же формы, но большаго діаметра, или же поверхность вращения обтачивается въ ней съ обратной кривизной. Въ чугунныхъ пятникахъ полезно дѣлать стальные вкладыши; для установки послѣднихъ пятникъ предварительно нагрѣвается (черт. 155). Для того, чтобы была достаточная направляющая при вращеніи, вверху пятникъ долженъ точно охватывать пята, а внизу между ними долженъ быть небольшой зазоръ.

Расчетъ поверхности соприкасанія пята съ пятникомъ. Примѣняются двѣ конструкціи: плотное касаніе и свободное касаніе опорныхъ частей.

1. *Плотное касаніе.* Обѣ поверхности одной кривизны т. е. выпуклому концу пята соответствуетъ углубленіе въ пятникъ; при этомъ различаютъ два случая:

а) давленіе P распредѣляется на всю поверхность полушарія и б) давленіе P распредѣляется на верхній сегментъ шара съ центральнымъ угломъ 90° .

Наибольшее напряженіе N_{max} въ верхней точкѣ пята *) въ первомъ случаѣ

$$N_{max} = \frac{3P}{2\pi R^2} \dots \dots \dots (2)$$

т. е. въ три раза болѣе того напряженія, которое получилось бы въ томъ случаѣ, если бы давленіе P распредѣлялось равномерно по всей поверхности полушарія и въ полтора раза

*) См. „Желѣзные мосты“ проф. Е. О. Патона томъ 2 стр. 42.

болѣе равномернаго напряженія, отнесеннаго къ діаметральному сѣченію; во второмъ случаѣ

$$N_{max} = \frac{P}{0,430 \cdot \pi \cdot R^2} \dots \dots \dots (3)$$

т. е. въ 1,36 разъ болѣе напряженія равномерно распределеннаго по всей поверхности шарового сегмента съ центральнымъ угломъ 90° (площадь его $= 2 \pi R h = 2 \pi R^2 \cdot 0,2929$) и въ 2,33 раза болѣе равномернаго напряженія отнесеннаго къ діаметральному сѣченію.

При плотномъ касаніи допускаемое напряженіе

для чугуна $K = 250 \frac{k g.}{q. cm.}$

для стали $K = \text{отъ } 390 \text{ до } 550 \frac{k g.}{q. cm.}$

Подставляя эти значенія въ формулы 2 и 3, находимъ величину радіуса пяты R въ сантиметрахъ въ первомъ случаѣ:

$$\left. \begin{array}{l} \text{для чугуна } R_{cm} \geq 1,382 \sqrt{P \text{ tonn.}} \\ \text{для стали } R_{cm} \geq \text{отъ } 1,106 \sqrt{P \text{ tonn.}} \text{ до } 0,932 \sqrt{P \text{ tonn.}} \end{array} \right\} \dots (4)$$

во второмъ случаѣ:

$$\left. \begin{array}{l} \text{для чугуна } R_{cm} \geq 1,721 \sqrt{P \text{ tonn.}} \\ \text{для стали } R_{cm} \geq \text{отъ } 1,378 \sqrt{P \text{ tonn.}} \text{ до } 1,16 \sqrt{P \text{ tonn.}} \end{array} \right\} \dots (5)$$

Если $P=25 t$, то при плотномъ касаніи полушарій

для чугуна $R \geq 1,382 \times 5 = 6,9 \sim 7$ сант.

для стали $R \geq \text{отъ } 1,106 \times 5 \text{ до } 0,932 \times 5 = \text{отъ } 5,5 \text{ до } 4,7$ сант.

при плотномъ касаніи по поверхности шарового сегмента съ центральнымъ угломъ 90° .

для чугуна $R \geq 1,721 \cdot 5 \geq 8,6 \sim 9$ сант.

для стали $R \geq \text{отъ } 1,378 \cdot 5 \text{ до } 1,16 \cdot 5 \geq \text{отъ } 6,9 \text{ до } 5,8 \geq \sim \text{отъ } 7 \text{ до } 6$ сант.

Въ виду того, что не всегда можно рассчитывать на вполне плотное соприкасание полушарій, рекомендуется рассчитывать пятю по формулѣ (5).

II. *Свободное касаніе.* Въ данномъ случаѣ будемъ разсматривать касаніе двухъ шаровъ и шара съ плоскостью.

По Grashof-у наибольшее напряженіе въ верхней точкѣ пяты

$$N_{max} = \sqrt{\frac{2 P k}{\pi \cdot A}}$$

$$\text{гдѣ } k = \frac{1}{2} \left(\frac{1}{R} + \frac{1}{r} \right)$$

R и r радиусы шаровыхъ поверхностей

P —полное давленіе на пятю.

Обозначая допускаемое напряженіе черезъ K , получимъ

$$K^2 = \frac{2 P k}{\pi \cdot A}.$$

Коэффициентъ A зависитъ отъ упругихъ свойствъ матеріала и его величины. Landsberg принимаетъ его равнымъ 0,025 при измѣреніяхъ въ сантиметрахъ и тоннахъ, такъ что

$$K_{tn}^2 = \frac{80 \cdot P_{tn} k}{\pi} \quad \text{или}$$

$$K_{tn}^2 = 12,75 \cdot P_{tn} \left(\frac{1}{R} + \frac{1}{r} \right) \quad \dots \dots \dots (6)$$

Если $R = r$, то

$$K_{tn}^2 = \frac{25,5 \cdot P_{tn}}{R} \quad \dots \dots \dots (7)$$

Если $R = \infty$, т. е. шаръ соприкасается съ плоскостью, то

$$K_{tn}^2 = \frac{12,75 \cdot P_{tn}}{r} \quad \dots \dots \dots (8)$$

Для опредѣленія радиусовъ шаровыхъ пятъ Landsberg принимаетъ допускаемое напряженіе

для литого желѣза $K = 1,5 \frac{tn}{q \text{ см}}$

для стали $K = 2 \frac{tn}{q \text{ см}}$

Даже при такихъ высокихъ напряженіяхъ радіусы R и r получаются довольно большіе.

Примѣръ. Если $P = 10 t$, то при соприкасаниі шаровой поверхности съ плоскостью

для стали $r = \frac{12,75 \times 10}{4} = \sim 32 \text{ см.}$

для литого желѣза $r = \frac{12,75 \times 10}{2,25} = \sim 57 \text{ см.}$

При свободномъ касаніи двухъ шаровыхъ поверхностей равныхъ радіусовъ

для стали $R = \frac{25,5 \times 10}{4} = \sim 64 \text{ см.}$

для желѣза $R = \frac{25,5 \times 10}{2,25} = \sim 113 \text{ см.}$

При большомъ значеніи P т. е. при большихъ воротахъ, радіусы закругленій получаются очень большіе; а потому въ такихъ случаяхъ выгоднѣе примѣнять опоры съ плотнымъ соприкасаниемъ.

На чертежѣ 158 показана конструкція, гдѣ на пятѣ по меридіанальнымъ окружностямъ сдѣлано нѣсколько бороздокъ для смазыванія. Въ чугунномъ пятникѣ внизу вблизи пята сдѣланъ небольшой вырѣзъ; вырѣзъ этотъ закрывается желѣзнымъ листомъ, который долженъ обжимать пята безъ зазора. Въ упомянутыя бороздки масло вгоняется черезъ трубочку подъ сильнымъ давленіемъ, воздухъ же выходитъ изъ бороздокъ по другой трубочкѣ. Подробности см. Barkhausen Ueber einige neuere englische Seeschleusen. Zeitschr. d. Arch.—u. Ing. Ver. zu Hannover 1888 s. 428.

§ 63. Шипъ и гальсбантъ. На верхнемъ концѣ веревальнаго столба прикрѣпляется шипъ (deut. der Halszapfen, franz.

le tourillon, engl. the upper pivot). Шипъ этотъ, поддерживаемый гальсбантомъ (deut. das Halsband, franz. le collier, engl. the circular collar), имѣетъ слѣдующее назначеніе: онъ вмѣстѣ съ пятой долженъ образовать ось вращенія и удерживать открытыя ворота въ вертикальномъ положеніи; при закрытыхъ воротахъ онъ долженъ передавать на стѣны иногда весьма значительное горизонтальное давленіе и наконецъ по своей конструкціи онъ долженъ давать возможность исправить положеніе оси вращенія и въ случаѣ надобности приподнять ворота для ремонта. Гальсбантъ слѣдуетъ такъ устраивать, чтобы всегда можно было нѣсколько подтянуть его и тѣмъ самымъ уничтожить возможное провисаніе полотна воротъ.

Выше въ § 36 уже опредѣлена та сила, которая въ закрытомъ состояніи воротъ должна передаваться черезъ верхній конецъ веревяльнаго столба на стѣну; передача усилія происходитъ черезъ особую подушку, которая соприкасается съ плитой, задѣланной въ углу шкафа. Необходимая площадь этой плиты легко опредѣляется въ зависимости отъ матеріала стѣны и допускаемаго на него давленія. Въ § 36 опредѣлены также тѣ усилія, вторыя передаются на верхній шипъ при открытомъ состояніи воротъ и во время вращенія ихъ. Чтобы не было провисанія воротъ, указанныя усилія должны передаваться на стѣны. Для этого верхній шипъ охватывается прочнымъ гальсбантомъ, и концы послѣдняго закрѣпляются въ стѣну.

Матеріалъ шипа, гальсбанта и опорной плиты. Шипъ подвергается изгибу, а при быстромъ закрытіи воротъ и ударамъ; поэтому дѣлать его изъ чугуна не слѣдовало бы; однако въ дѣйствительности встрѣчаются чугунные шипы (черт. 159). Вообще же рекомендуется дѣлать шипы изъ литого жельза; можно примѣнять и литую не закаленную сталь хорошаго качества; а такъ какъ свойства отпущенной стали тѣмъ менѣе замѣтны, чѣмъ болѣе размѣры отливки, то не слѣдовало бы дѣлать изъ литой стали большихъ шиповъ, если возможны сильные удары. Для устройства опорной плиты или пятника, въ которомъ вращается шипъ (см. черт. 162, 163) мож-

но примѣнять литое желѣзо, сталь и даже чугуны. Гальсбантъ и всѣ части, закрѣпляющія его въ стѣну, лучше дѣлать изъ литого желѣза.

Шипъ. Шипъ или наглухо скрѣпляется съ воротами, и гальсбантъ, задѣланный въ стѣну, охватываетъ его, или наоборотъ онъ входитъ въ составъ части, соединенной со стѣной, и тогда къ веревальному столбу прикрѣпляется особая подушка, которая вращается около неподвижнаго шипа.

Въ первомъ случаѣ къ верхнему концу веревальнаго столба и къ верхнему рамному брусу прикрѣпляется особая отливка, которая снабжена вертикальнымъ шипомъ и горизонтальнымъ выступомъ; послѣдній служитъ для упора въ подушку, задѣланную въ стѣну (черт. 159). Болты, прикрѣпляющіе отливку къ воротамъ, рассчитываются по горизонтальному усилюю *Z*.

Если указанная отливка сдѣлана изъ чугуна, то можно опасаться излома шипа. Недостатокъ этой конструкции состоитъ и въ томъ, что если сломится шипъ, то придется смѣнить всю отливку, что очень затруднительно и обойдется очень дорого. Въ этомъ отношеніи гораздо удобнѣе конструкция, показанная на черт. 160, гдѣ отливка состоитъ изъ двухъ отдѣльных частей.

Гораздо лучше второй типъ, гдѣ къ веревальному столбу прикрѣпляется особая подушка, при помощи которой плотно воротъ можетъ вращаться около неподвижнаго шипа (черт. 161, 162 и 163). Послѣдній въ данномъ случаѣ можно сдѣлать изъ лучшаго желѣза; въ случаѣ же поврежденія или излома его легко смѣнить. Конструкция эта имѣетъ и то преимущество, что она можетъ противодѣйствовать всплыванію воротъ. Изъ черт. 162 видно, что пятникъ для шипа состоитъ изъ трехъ частей: кованой плиты *b*, стальной накладки *c* и кольца *d*; послѣднее соединяется съ частями *b* и *c*, при чемъ внизу головки заклепокъ дѣлаются потайными. Кольцо *d* сдѣлано высотой около 10 см. Диаметръ шипа на верху равенъ 20.05 см. внизу—19,44 см.; диаметръ кольца на верху 20,95 см. внизу 19,73 см.

Шипъ сидитъ въ чугунной отливкѣ, показанной на черт. 161, но лучше и эту часть дѣлать изъ стали или литого желѣза.

На черт. 163 показана конструкція, въ которой чугунныхъ частей нѣтъ. Здѣсь шипъ закрѣпленъ въ стальной верхней отливкѣ. Нижняя часть шипа и углубленіе стальной отливки, прикрѣпленной къ воротамъ имѣютъ цилиндрическую форму. На верху же шипъ сдѣланъ слегка коническимъ соотвѣтственно отверстію, сдѣланному въ верхней отливкѣ.

Для того, чтобы можно было приподнять шипъ и установить его, вверху ввинченъ крюкъ. Между головой шипа и нижней подушкой оставленъ зазоръ около 6 мм. для того, чтобы не было дополнительныхъ напряженій при увеличеніи длины веревяльнаго столба отъ повышенія температуры. Скрѣпленный со стѣною квадрантъ состоитъ изъ трехъ балокъ коробчатого сѣченія, составленнаго изъ листовъ и уголковъ. Балки эти соединяются со стѣною при помощи радіальныхъ и вертикальныхъ анкеро́въ, а между собою при помощи листовъ и уголковъ.

Всѣ вышеуказанныя конструкціи имѣютъ тотъ недостатокъ, что шипъ въ нихъ работаетъ какъ балка закрѣпленная однимъ концомъ. Для того, чтобы поставить шипъ въ болѣе выгодныя условія, стали примѣнять сначала въ Америкѣ, а потомъ и въ Европѣ конструкцію показанную на черт. 164. Здѣсь шипъ вставляется въ чугунную отливку сверху и скрѣпляется съ верхней частью отливки при помощи клинообразнаго штыря съ гайкой.

На черт. 165 показано соединеніе гальсбанта со стѣной. Соединеніе это вообще дѣлается при помощи двухъ или трехъ анкеро́въ и должно удовлетворять слѣдующимъ условіямъ: во-первыхъ, въ случаѣ надобности анкеры должны легко выниматься изъ стѣны и, во-вторыхъ, чтобы ворота можно было снимать для починки, скрѣпленіе гальсбанта съ анкерами должно быть разборчатое. Конструкціи, показанныя на черт. отъ 165 до 172, вполне удовлетворяютъ этимъ условіямъ.

На черт. 167 показанъ гальсбантъ воротъ, въ которыхъ горизонтальное давленіе передается на стѣну не черезъ по-

Длина λ шипа, входящая въ предыдущія формулы, еще не извѣстна. Ее надо назначать съ такимъ расчетомъ, чтобы наибольшее давленіе на единицу площади соприкасанія между шипомъ и гальсбантомъ не превосходило допускаемаго напряженія на смятіе. Если гальсбантъ охватываетъ шипъ по всей длинѣ, то наибольшее напряженіе въ два раза болѣе равномерно распределеннаго т. е. $N_{max} = \frac{2 \cdot Z}{\frac{d \pi}{2} \cdot \lambda}$. Если N_{max}

должно равняться допускаемому напряженію K , то

$$\lambda = \frac{4}{\pi \cdot K} \cdot \frac{Z}{d} \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot (14).$$

Такъ какъ въ формулу для λ входитъ величина d , которая въ свою очередь зависитъ отъ λ , то для предварительнаго расчета приходится сначала задаваться произвольной величиной d .

Ширина гальсбанта обыкновенно дѣлается не менѣе 5 или 6 см.

Анкеры, закрепляющіе гальсбантъ, рассчитываются по составляющимъ, на которыя раскладывается усиліе Z (см. § 36). Чаше ставятся два анкера, одинъ изъ нихъ располагается по направленію оси закрытыхъ воротъ, а другой почти параллельно оси шлюза. При большихъ и тяжелыхъ воротахъ ставится иногда третій анкеръ и располагается онъ по линіи, дѣлящей пополамъ уголъ, составленный крайними анкерами (черт. 167, 168, 171, 172). Недостатокъ послѣдней конструкціи заключается въ томъ, что нельзя точно опредѣлить, какое усиліе дѣйствуетъ на каждый изъ анкеровъ. Для устраненія этого неудобства поступаютъ такъ, какъ указано на черт. 175 и 176 т. е. каждый изъ двухъ анкеровъ развѣтвляють еще на два, чѣмъ достигаютъ болѣе надежнаго скрѣпленія гальсбанта съ каменной кладкой.

На черт. 176 показано разложеніе усилія Z для нѣкотораго средняго положенія воротъ и точно опредѣлены тѣ усилія, которыя приложены въ точкахъ a , b , c .

Равнодѣйствующая вѣса части стѣны, захваченной анкерами, и силы Z должна проходить на такомъ разстояніи отъ края стѣны, чтобы наибольшее давленіе на кладку не превосходило допускаемаго напряженія, и кромѣ того, чтобы не было скольженія, т. е. тангенсъ угла, составленнаго равнодѣйствующей R съ нормалью, не долженъ превосходить коэффициента тренія камня по камню $f=0,7$ (при затвердѣвшемъ растворѣ). Для увеличенія устойчивости иногда дѣлають швы кладки нормально равнодѣйствующей R (см. черт. 177).

Подъ вліяніемъ усилія Z происходитъ одностороннее изнашиваніе шипа и гальсбанта; кромѣ того во время вращенія воротъ вслѣдствіе тренія приходится затратить большее усиліе, чѣмъ въ томъ случаѣ, если бы этого усилія Z вовсе не было. Вліяніе этого усилія совершенно уничтожается, если центръ тяжести вращающихся воротъ лежитъ на оси вращенія веревальнаго столба. Для достиженія этого къ полотну воротъ прикрѣпляется коромысло, на концѣ котораго помѣщается противовѣсъ C (см. черт. 178). Для того, чтобы равнодѣйствующая вертикальныхъ силъ проходила черезъ ось вращенія веревальнаго столба, величина C противовѣса должна удовлетворять условію

$$C = \frac{(Q - M)a}{c} \dots \dots \dots (15)$$

здѣсь Q — вѣсъ воротъ

M — вѣсъ вытѣсненной воды.

Послѣдняя величина измѣняется въ зависимости отъ колебанія горизонта воды, сообразно чему и противовѣсъ C долженъ быть увеличенъ или уменьшенъ. Судя по большому или меньшему прилеганію шипа къ гальсбанту всегда легко узнать какимъ образомъ должно быть сдѣлано это измѣненіе противовѣса.

На черт. 179 показаны въ планѣ ворота, коромысло которыхъ состоитъ изъ двухъ швелеровъ высотой 30 ст.

§ 64. Приспособленія для закрытія и открытія водопроводныхъ оконъ. Для впуска воды въ камеру и выпуска

ея изъ камеры въ воротахъ дѣлаются щитовые затворы (deut. die Schützen, franz. les ventelles, les vannes, engl. the sluices) или водопроводы устраиваются въ стѣнахъ шлюза.

Отверстія затворовъ должны быть достаточной величины для того, чтобы необходимый для сравненія горизонтовъ впускъ и выпускъ воды совершался въ возможно короткое время, отъ чего частью зависитъ суточная пропускная способность шлюза; а такъ какъ щитовые затворы должны легко и быстро открываться и закрываться, впускъ же воды въ камеру долженъ сопровождаться возможно меньшимъ волненіемъ воды и не причинять поврежденій стоящимъ въ камерѣ судамъ, то приходится дѣлать отверстія небольшихъ размѣровъ. Въ желѣзныхъ воротахъ, уменьшая величину отверстій, иногда увеличиваютъ число ихъ до двухъ и болѣе.

Обыкновенно высота затворовъ въ свѣту бываетъ отъ 60 до 80 ст., а ширина около 150 ст.

Конструкція затворовъ должна быть по возможности проще и мутность воды не должна оказывать на нихъ вреднаго вліянія.

Щитовые затворы бываютъ двухъ родовъ:

а) подъемные: обыкновенные и рѣшетчатые.

б) поворотные.

а) Подъемные щиты.

1) *Усиліе, дѣйствующее на подъемный щитъ.* Если щитъ весь погруженъ въ воду съ низовой стороны, то при разности горизонтовъ воды h , высотѣ щита a и ширинѣ b , полное давленіе воды на щитъ

$$W = \gamma \cdot h \cdot a \cdot b = (1000 \cdot h \cdot a \cdot b) \text{ кг.}$$

гдѣ h , a и b —въ метрахъ.

При коэффициентѣ тренія μ усиліе, необходимое для подъема щита

$$Z \geq \mu \cdot 1000 \cdot h \cdot a \cdot b + G \quad (16)$$

гдѣ G —вѣсъ штанги и щита за вычетомъ вѣса вытѣсненной воды.

Вѣсъ деревянныхъ щитовъ не принимается во вниманіе. Если же имѣется желѣзный щитъ, то можно не принимать во вниманіе вѣса вытѣсненной воды, потому что онъ малъ по сравненію съ вѣсомъ самаго щита.

По Landsberg'у коэффициентъ тренія дерева по дереву μ = отъ 0,4 до 0,5 а желѣза по желѣзу μ = отъ 0,3 до 0,4 *).

Можно принять вѣсъ квадратнаго метра щита

изъ чугуна	250 kg.	} безъ штанги.
изъ желѣза	160 „	

Вѣсъ штанги смотря по длинѣ бываетъ отъ 40 до 60 kg. Обыкновенные щиты приходится поднимать на полную высоту ихъ. Рѣшетчатые же щиты по высотѣ раздѣляются на (n) частей и поднимать ихъ приходится на $\frac{1}{n}$ полной высоты, такъ что время, потребное для открытія и закрытія ихъ, во много разъ менѣе по сравненію съ обыкновенными щитами.

2) *Конструкція обыкновенныхъ щитовъ.* Каждый щитъ состоитъ изъ плиты, рамы, штанги и подъемаго механизма.

Плита и рама. Плита движется въ особой четырехугольной рамѣ, вертикальныя части которой снабжены направляющими пазами. Рама прикрѣпляется къ обшивкѣ плоскихъ воротъ, а въ случаѣ криволинейныхъ воротъ къ особымъ ящикамъ (см. черт. 180). Плита дѣлается изъ дерева, чугуна и желѣза.

Деревянные щиты рекомендуется дѣлать изъ двухъ рядовъ досокъ; одніе доски располагаются вертикально, другія—горизонтально; послѣднія обыкновенно бываютъ со стороны болѣе высокаго горизонта воды. Въ пазахъ перемѣщаются только вертикальныя доски. (черт. 181). Если же щитъ сдѣланъ изъ одного ряда досокъ, то послѣднія располагаются горизонтально и соединяются другъ съ другомъ полосовымъ желѣзомъ (50. 10 mm.).

*) Указанныя значенія μ , повидимому, нѣсколько преувеличены; см. ниже параграфъ 65 о расчетѣ усилія для открыванія воротъ.

На чертежѣ 180 показанъ чугунный щитъ. Расчитывается онъ согласно § 40. Рекомендуются дѣлать щиты изъ желѣза; они легки, почти не подвергаются ржавчинѣ, если хорошо окрашены или оцинкованы, и не такъ часто ломаются, какъ чугунные. На черт. 182 показанъ желѣзный щитъ, направляющая рама котораго сдѣлана изъ чугуна.

Щитовые затворы дѣлаются иногда изъ лотковаго желѣза. На черт. 183 показанъ затворъ, состоящій изъ двухъ частей, расположенныхъ на нѣкоторомъ разстояніи другъ отъ друга. При подъемѣ щита оба отверстія, расположенныя одно надъ другимъ, открываются одновременно. Справа и слѣва къ лоткамъ прикрѣплены уголки $\left(\frac{60.80}{11}\right)$, которые соединяютъ ихъ вмѣстѣ, и во время движенія передаютъ усиліе отъ верхняго лотка нижнему. Къ верхнимъ и нижнимъ гранямъ лотковъ приклепаны уголки того же калибра и соединяются съ вертикальными при помощи уголковъ же. Штанга соединяется со щитомъ при помощи уголковъ.

Штанга дѣлается изъ желѣза и бываетъ квадратнаго, прямоугольнаго и круглаго сѣченія (см. черт. 180—184).

Механизмы должны быть сдѣланы съ такимъ расчетомъ, чтобы для приведенія въ движеніе подъемныхъ щитовъ требовалось усиліе одного человѣка въ 30 kg. и въ исключительныхъ случаяхъ 40 kg., при двухъ же рабочихъ полное усиліе это должно быть 55 kg. и въ крайнемъ случаѣ 70 kg.

На черт. 185 показанъ зубчатый приводъ, состоящій изъ зубчатой рейки, зубчатаго колеса b , рычага h и двухъ направляющихъ роликовъ c . Зубчатое колесо и рейка дѣлаются съ такимъ расчетомъ, чтобы отверстіе открывалось вполнѣ при поворотѣ рычага въ вертикальной плоскости на 180° . Если затворъ приходится поднимать или опускать на высоту

s , діаметръ зубчатаго колеса $=d$, то должно быть $\frac{d\pi}{2} = s$; от-

сюда $d = \frac{2s}{\pi} = 0,63 s$. При передачѣ равной 1 : 10 (при длинѣ рычага около 1,5 m.) на зубчатой штангѣ можно вызвать усиліе отъ 550 до 700 kg.

Принимая коэффициентъ тренія металла по металлу $\mu=0,3$ и дерева по дереву $\mu=0,4$, вѣсъ одного кв. мет. чугунаго щита вмѣстѣ со штангой 300 kg., желѣзнаго 200 kg. и пренебрегая вѣсомъ деревяннаго щита, получимъ величину сопротивленія Z , соотвѣтствующую одному кв. метру затвора

$$Z = \begin{cases} 300 h + 200 \text{ kg. для чугуна.} \\ 300 h + 200 \text{ kg. для желѣза.} \\ 400 h \text{ для дерева.} \end{cases} \dots (17).$$

Полагая, что совмѣстное усиліе двухъ рабочихъ, равное 60 kg. приложено къ рычагу, отношеніе плечъ котораго 1:10, на основаніи вышеприведенной формулы можно опредѣлить наибольшую возможную площадь щитового затвора при заданной величинѣ h разницы горизонтовъ. Въ слѣдующей таблицѣ приведены результаты вычисленій.

h met.	Чугунный щитъ.		Желѣзный щитъ.		Деревянный щитъ.	
	$Z \text{ kg}$ на 1 $q\text{m}$ площади щита.	Наиболь- шая пло- щадь щита $q\text{m}$.	$Z \text{ kg}$ на 1 $q\text{m}$ площади щита.	Наиболь- шая пло- щадь щита $q\text{m}$.	$Z \text{ kg}$ на 1 $q\text{m}$ площади щита.	Наиболь- шая пло- щадь щита $q\text{m}$.
1	600	1.0	500	1.2	400	1.5
1.5	750	0.8	650	0.92	600	1.00
2	900	0.67	800	0.75	800	0.75
2.5	1050	0.57	950	0.63	1000	0.60
3	1200	0.50	1100	0.55	1200	0.50
3.5	1350	0.44	1250	0.48	1400	0.43

Изъ этой таблицы видно, что при разности горизонтовъ h болѣе двухъ метровъ выгоднѣе примѣнять металлическіе затворы.

Если же по расчету окажется, что при заданной разницѣ горизонтовъ воды требуется площадь затвора болѣе той, которая указана въ приведенной таблицѣ, то для приведенія въ движеніе подъемнаго щита надо примѣнять винтовые домкраты съ рукоятками, вращающимися въ горизонтальной

плоскости (см. черт. 181, 182 и 184). При такой конструкции для подъема щита потребуется конечно больше времени, чѣмъ при дѣйствіи простымъ рычагомъ. Поэтому надо по возможности уменьшать сопротивление Z . Достигнуть этого можно уменьшеніемъ собственного вѣса щита и коэффициента тренія; или вмѣсто того, чтобы уменьшать Z можно сокращать ту высоту, на которую приходится поднимать щитъ, что достигается примѣненіемъ рѣшетчатыхъ щитовъ.

Наконецъ для уничтоженія вліянія собственного вѣса затвора можно примѣнять спаренные щиты, которые приводятся въ движеніе при помощи балансирныхъ рычаговъ, какъ показано на черт. 186.

Рѣшетчатые щиты. Рабочая площадь такихъ щитовъ равна половинѣ всей площади. Для увеличенія коэффициента расхода воды при протеканіи ея черезъ отверстія, сплошнымъ частямъ подвижной части рѣшетчатого щита слѣдуетъ по возможности придавать форму сжатой струи. Въ такомъ случаѣ коэффициентъ расхода можно было бы принять равнымъ 0,9; въ дѣйствительности же въ щитахъ среднихъ размѣровъ онъ едва достигаетъ 0,6.

На черт. 187 показанъ рѣшетчатый щитъ, подвижная часть котораго состоитъ изъ желѣза Зоре. Сбоку желѣзо Зоре соединено уголками, которые при движеніи скользятъ между направляющими зетами (№ 12). Въ самомъ полотнѣ воротъ между нижними ригелями поставлены дополнительные стойки изъ корытнаго желѣза № 20; къ стойкамъ этимъ въ горизонтальномъ направленіи прикрѣплено въ двухъ мѣстахъ корытное желѣзо того же колибра, такъ что въ воротахъ получается три отверстія шириною 1,36 м. и высотой 0,14 м. перекрывающіяся желѣзомъ Зоре. При открытіи затвора щитъ перемѣщается внизъ, на 18 ст., при чемъ рычагъ поворачивается на 90° .

На черт. 188 показанъ чугунный щитъ при деревянной обшивкѣ, къ которой прикрѣпляется чугунная рама. Дополнительные стойки сдѣланы изъ тавроваго желѣза. При поворотѣ рычага на 180° щитъ приподнимается или опускается на 170 мм.

b) Вращающіеся щиты.

Вращающіеся щиты передъ подъемными имѣютъ то преимущество, что даютъ возможность быстрѣе открыть водопроводныя отверстія и при этомъ приходится затрачивать меньшее усиліе; что же касается плотности затвора, то вращающіеся щиты уступаютъ подъемнымъ.

Ось вращенія располагается или горизонтально или вертикально, при чемъ она всегда не совпадаетъ съ осью симметріи щита. Благодаря такому эксцентриситету давленіе воды на одну часть щита всегда болѣе, чѣмъ на другую, такъ что щитъ плотно прижимается къ краямъ закрываемаго отверстія. У щита показаннаго слѣва на черт. 189 верхняя часть больше нижней; а у щита показаннаго справа,—на оборотъ (черт. 189).

Усиліе необходимое для открытія щита. При различныхъ положеніяхъ щита усиліе это различно. Ниже будетъ определено, во-первыхъ, усиліе, которое затрачивается въ первый моментъ вращенія и, во-вторыхъ, усиліе, затрачиваемое при дальнѣйшемъ вращеніи приблизительно на 90° до полного открытія отверстія. Въ первый моментъ вращенія сила сопротивленія равна разности статическихъ давленій на обѣ части щита; при дальнѣйшемъ движеніи, какъ только вода устремится въ едва открытое отверстіе, приходится преодолевать уже гидравлическое давленіе.

Первая часть вращенія. Введемъ обозначенія (черт. 190).

h —разность горизонтовъ воды,

a —ширина затвора,

b —высота (перпендикулярная оси вращенія);

e —эксцентриситетъ,

c —ширина краинъ щита, прилегающихъ къ неподвижной части,

D_1 и D_2 давленіе на большую и на меньшую часть щита.

Когда отверстіе закрыто и въ первый моментъ вращенія

$$D_1 = \gamma \cdot a \left(\frac{b}{2} + e \right) h; \quad D_2 = \gamma a \left(\frac{b}{2} - e - c \right) h$$

$$D_1 - D_2 = \Delta = \gamma a h (2e + c).$$

Моментъ усилия Δ относительно оси вращения O

$$M_1 = \frac{\gamma a h \left(\frac{b}{2} + e \right)^2}{2} - \frac{\gamma a h \left(\frac{b}{2} - e - c \right)^2}{2} = \frac{\gamma a h}{2} (b - c) (2e + c),$$

Моментъ силы тренія въ цапфахъ

$$M_2 = \gamma a h (b - c) \mu \cdot \frac{d}{2}$$

$$D_1 + D_2 = \gamma a h (b - c)$$

гдѣ d діаметръ цапфъ

μ — коэффициентъ тренія.

Такъ какъ c мало по сравненію съ b , а μ въ точности не извѣстно, то съ достаточной точностью можно считать

$$M_2 = \gamma a b h \mu \cdot \frac{d}{2}.$$

Полный моментъ силъ сопротивленія

$$M = M_1 + M_2 = \frac{\gamma a h}{2} [(b - c) (2e + c) + b \mu d]$$

а вслѣдствіе того, что c очень мало, можно считать

$$M = \frac{\gamma a b h}{2} (2e + c + \mu d)$$

$$M = D \left(e + \frac{c}{2} + \frac{\mu d}{2} \right).$$

Здѣсь D означаетъ гидростатическое давленіе на всю площадь щита.

Если обозначить черезъ ξ плечо усилия P , передаваемого черезъ штангу, и черезъ G — вѣсъ штанги, то

$$(G + P) \xi = M,$$

отсюда

$$G + P = \frac{\gamma a h}{2 \xi} [(b - c) (2e + c) + b \mu d],$$

или съ достаточной точностью

$$P = \frac{\gamma a b h}{2\xi} (2e + c + \mu d) - G,$$

или

$$P = \frac{D}{\xi} \left[e + \frac{c}{2} + \frac{\mu d}{2} \right] - G \quad (18)$$

Если $c = 0,02$ м., $\mu = 0,3$, $\xi = 0,2$ м., то получится:

$$\left. \begin{aligned} M &= D(e + 0,01 + 0,15d) \\ P &= \frac{D}{0,2} (e + 0,01 + 0,15d) - G \end{aligned} \right\} \quad (19);$$

при $d = 0,07$; $e = 0,005$ м.

$$M = 0,026 \cdot D, \quad P = 0,127 \cdot D - G.$$

Если $b = 0,63$ м., $a = 1,5$ м., то

$$D = 1000 \cdot 0,63 \times 1,5 \cdot h = 945 h \text{ и } P = 120 h - G.$$

Обозначимъ отношение плечъ рычага т. е. рукоятки, приводящей въ движеніе щитъ, черезъ $n:1$, черезъ K —усиліе, приложенное къ рычагу, черезъ m коэффициентъ полезнаго дѣйствія механизма и $\eta = \frac{1}{m}$, то

$$K m (K n) = P \quad K = \frac{P}{m n} = \frac{P \eta}{n} \quad K = \frac{P \cdot \eta}{n};$$

η принимается равнымъ отъ 1,1 до 1,2
 G —отъ 40 до 60 kg.

$$K = \frac{\eta}{n} \left[\frac{D}{\xi} \left(e + \frac{c}{2} + \frac{\mu d}{2} \right) - G \right].$$

Подставляя сюда вышеприведенныя численныя значенія, получимъ

$$K = \frac{\eta}{n} \left[\frac{D}{0,2} (e + 0,01 + 0,15d) - G \right];$$

при $n=10$, $\eta=1,1$, $b=0,63$ м., $a=1,5$ м. и $G=50$ кг. будетъ

$$K = \frac{1,1}{10} (120 h - 50) = 1,1 (12 h - 5)$$

Отсюда находимъ, что въ первый моментъ вращенія щита одинъ рабочій, усиліе котораго K около 30 кг., можетъ еще преодолѣть сопротивленіе при $h=2,6$ м.

Выше предполагалось, что благодаря эксцентриситету оси вращенія увеличивается давленіе воды, прижимающее щитъ къ краямъ отверстія, т. е. ось вращенія назначена ближе къ той грани щита, которая опирается на неподвижную раму со стороны нижняго бьефа; при этомъ эксцентриситетъ считается положительнымъ. Выше указано, что при положительномъ эксцентриситетѣ e усиліе, прижимающее щитъ къ рамѣ, равно

$$D_1 - D_2 = \Delta = \gamma a h (2e + c).$$

Отсюда слѣдуетъ, что можно поставить ось вращенія ближе къ той грани, которая опирается на раму со стороны верхняго бьефа, т. е. назначить отрицательный эксцентриситетъ, лишь бы онъ не превосходилъ половины величины закраины c . При этомъ во время открытія щита конечно потребуется меньшее усиліе для преодоленія сопротивленія; а такъ какъ эта сравнительно ничтожная выгода пріобрѣтается за счетъ плотности затвора, то обыкновенно назначаютъ эксцентриситетъ положительный.

Вторая часть вращенія. Какъ только отверстіе будетъ едва открыто, и въ него устремится вода, скорость послѣдней, а вмѣстѣ съ тѣмъ и потеря напора на различныхъ разстояніяхъ отъ оси вращенія щита будетъ различная. Въ результатѣ получится нѣкоторый моментъ силъ, сопротивляющихся дальнѣйшему вращенію затвора.

Если обозначить ширину щита черезъ a , высоту его черезъ b , которая измѣряется перпендикулярно оси вращенія, то по Lieckfeld'у наибольшій моментъ гидравлическаго давленія при вращеніи

$$M_3 = 0,9 D (0,075 b \pm e + 0,15 d) \dots \dots \dots (20)$$

Здѣсь D означаетъ гидростатическое давленіе на закрытый щитъ, при чемъ берется вся площадь его безъ вычета кромокъ, прилегающихъ къ рамѣ.

e —эксцентриситетъ положительный или отрицательный d —діаметръ цапфы.

Подобно предыдущему усилие, необходимое для вращенія, найдется изъ уравненія: $(G + P) \xi = M_3$ или $P = \frac{M_3}{\xi} - G$; подставляя сюда значеніе M_3 , находимъ

$$P = \frac{0,9 D}{\xi} (0,075 b \pm e + 0,15 d) - G \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (21)$$

отсюда, сохраняя предыдущія обозначенія, получаемъ

$$K = \frac{P \cdot \eta}{n} = \frac{\eta}{n} \left[\frac{0,9 D}{\xi} (0,075 b \pm e + 0,15 d) - G \right] \quad . \quad . \quad (22)$$

Здѣсь ξ означаетъ плечо усилія P относительно оси вращенія при наклоненіи щита подъ 67° къ вертикали (для щита съ горизонтальной осью вращенія).

Полагая: $\eta = 1,1$, $n = 10$, $\xi = 0,45 \text{ м.}$, $e = 0,005 \text{ м.}$ $d = 0,07 \text{ м.}$ и $G = 50 \text{ кг.}$, находимъ (черт. 191)

$$K = \frac{1,1}{10} \left[\frac{0,9 D}{0,45} (0,075 b + 0,005 + 0,011) - 50 \right] =$$

$$= 0,11 [2 D (0,075 b + 0,016) - 50].$$

$$D = 1000 \text{ h. a. b.}$$

$$K = 110 \text{ h. a. b} (0,15 b + 0,032) - 5,5.$$

При $b = 0,6$, $a = 2,5 \text{ м.}$ будетъ $K = 12,1$. $h = 5,5$, такъ что

для $h =$	1	1,5	2	2,5	3 м.
$K =$	6,5	12,65	18,7	24,75	30,8 кг.

Конструкція вращающихся щитовъ. Въ большинствѣ случаевъ щитъ дѣлается прямоугольнаго вида, и ось вращенія не совпадаетъ съ его серединой; эксцентриситетъ назначается равнымъ 4 или 5 мил.

Обыкновенно щитъ дѣлается изъ двухъ желѣзныхъ листовъ и въ сѣченіи представляетъ ромбъ (см. черт. 192 и 193). Ось вращения дѣлается изъ брускового желѣза, къ которому щитъ прикрѣпляется заклепками. По краямъ щита между листами ставятся прокладки изъ листового желѣза. Кромки щита, прикрывающія отверстія, остругиваются, а заклепки въ этихъ мѣстахъ дѣлаются съ потайными головками. Цапфы вращаются въ чугунныхъ подшипникахъ съ бронзовыми вкладышами. На неподвижной рамѣ дѣлаются иногда выступы, изъ которыхъ одни служатъ опорой щита въ открытомъ состояніи, а другіе—въ закрытомъ. (черт. 192).

Неподвижная рама чаще всего дѣлается изъ двухъ вертикальныхъ и двухъ горизонтальныхъ деревянныхъ брусковъ, которые прикрѣпляются къ ригелямъ или стойкамъ. На черт. 193 показанъ затворъ криволинейныхъ воротъ стоечнаго типа, гдѣ деревянные бруски сѣченія 14.26 ст. прикрѣплены къ нижнему рамному брусу, стойкамъ и вспомогательному ригелю.

Неподвижныя рамы изъ желѣза обыкновенно не дѣлаются потому, что трудно при этомъ устранить фильтрацію воды.

Механизмъ для приведенія въ движеніе щита состоитъ обыкновенно изъ рычага, при вращеніи котораго на 180° щитъ поворачивается приблизительно на 90° (черт. 194). На нижнемъ и верхнемъ концѣ штанги дѣлается шарнирное соединеніе, а въ промежуткѣ ставятся особыя направляющія черезъ 1 м. или 1,2 м.

Щиты съ вертикальной осью вращения по своей конструкціи ничѣмъ существеннымъ не отличаются отъ предыдущаго. На черт. 195 показанъ затворъ, состоящій изъ двухъ щитовъ, расположенныхъ рядомъ. Здѣсь между ригелями поставлены три небольшія стойки, къ которымъ прикрѣпляется деревянная рама. При движеніи рычага оба щита поворачиваются одновременно.

Для уменьшенія усилія, затрачиваемаго на приведеніе въ движеніе затвора, иногда принимаютъ слѣдующія мѣры: во-первыхъ, примѣняютъ рѣшетчатый щитъ (черт. 196), благодаря чему гидравлическое давленіе, принимаемое пропорціо-

нальнымъ квадрату высоты, при раздѣленіи послѣдней на n частей будетъ пропорціонально $n \left(\frac{b}{n} \right)^2 = \frac{b^2}{n}$, т. е. въ n разъ менѣе, чѣмъ на сплошной щитъ; во-вторыхъ, болѣе короткое крыло затвора дѣлаютъ нѣсколько выступающимъ за предѣлы неподвижной рамы; при этомъ величина давленія, дѣйствующаго на закрытый щитъ, не мѣняется, а какъ только затворъ будетъ открытъ, то давленіе на добавочную часть короткаго крыла будетъ содѣйствовать вращенію, и наконецъ, въ третьихъ, моментъ гидравлическаго давленія можно значительно уменьшить, если до начала вращенія щита уменьшить площадь болѣе длиннаго крыла приспособленіемъ, указаннымъ на черт. 197.

Расчетъ усилія для открыванія шлюзовыхъ воротъ.

§ 65. Величина усилія, необходимаго для открытія шлюзовыхъ воротъ, чаще всего опредѣляется или по формулѣ Landsberg'a *) или по формулѣ проф. Зброжека.

Принимая во вниманіе треніе въ пятѣ и гальсбантѣ, гидростатическое и гидродинамическое сопротивленіе полотна при вращеніи, Landsberg находитъ *), что моментъ всѣхъ сопротивленій относительно оси вращенія полотна выражается слѣдующей формулой въ килограмметрахъ

$$M = \mu \left(\frac{Pd}{4} + \frac{Sd_1}{2} \right) + \gamma \cdot \frac{l^2}{2} h \cdot \alpha' + \frac{3}{4} \cdot 75 h v^2 l^2$$

или въ пудо-дюмахъ

$$M_1 = \mu \left(\frac{Pd}{4} + \frac{Sd_1}{2} \right) + \gamma \cdot \frac{l^2}{2} h \cdot \alpha' + \frac{3}{4} \cdot 0,0000019 h v^2 l^2. \quad (1);$$

*) „Die eiserne Stenthor“ 1894 г.

здѣсь введены слѣдующія обозначенія:

P — вѣсъ полотна воротъ,

S — натяженіе гальсбанта,

l — ширина полотна,

h — глубина погруженія его,

d — діаметръ пяты,

d_1 — діаметръ шипа гальсбанта,

$\alpha' = 2$ сант. = 0,786 дм. разность уровней воды по обѣ стороны воротъ во время ихъ вращенія,

γ — вѣсъ кубической единицы воды,

$\mu = 0,4$ — коэффициентъ тренія въ пятѣ и гальсбантѣ,

v — линейная скорость движенія середины полотна.

Проф. Зброжекъ принимаетъ во вниманіе кромѣ указанныхъ выше сопротивленій и силу инерціи и находитъ *), что при вращеніи воротъ надо преодолѣвать моментъ.

$$M_2 = \frac{\omega_0 P(c^2 + 4l^2)}{12gt_0} + \frac{0,1(bd + ld_1) \cdot P}{b} + \frac{\gamma hl^2}{2} \left(\alpha + \frac{\beta l^2 \omega_0^2}{12g} \right). (2)$$

Здѣсь P , l , h , d , d_1 , γ имѣютъ тѣже значенія, что и выше,

c — средняя толщина воротъ,

b — вертикальное разстояніе центра реакціи пяты отъ центра натяженія гальсбанта,

ω_0 — наибольшая угловая скорость вращенія, принимаемая равной удвоенной средней угловой скорости ω ,

t_0 — время, въ теченіе котораго угловая скорость достигаетъ наибольшаго значенія ω_0 , время это равно половинѣ всего времени открытія или закрытія воротъ,

$$\text{коэффициентъ } 0,1 = \frac{\mu}{4} = \frac{0,4}{4},$$

$\alpha = 1$ дюйму — коэффициентъ гидростатическаго давленія,

$\beta = 1,1$ — коэффициентъ гидродинамическаго давленія,

$g = 32,2$ фута — ускореніе силы тяжести.

Инженеръ И. О. Польковскій недавно ввелъ нѣкоторыя поправки въ приведенныя выше формулы. Неточность формулъ

*) „Курсъ внутреннихъ водныхъ сообщеній“ 1897 г.

Landsberg'a и Зброжека онъ показаль на примѣрѣ, приводя расчетъ движущаго момента и усилій для воротъ шлюза на рѣкѣ Шекснѣ *).

Данныя для расчета: вѣсъ полотна, погруженнаго въ воду на $h = 197$ дюйм., $P = 500$ пуд.; $l = 286''$, $S = \frac{P}{2} \cdot \frac{l}{b} = 341$ пуд.; $d = d_1 = 5$ дм. (черт. 198).

Уголъ между закрытымъ полотномъ и стѣною шлюза $= 68^\circ 12'$; дуга этого угла $= 1,19$. Полотно открывается и закрывается въ теченіе $T = 65$ сек., такъ что средняя угловая скорость $\omega = \frac{1,19}{65} = 0,0183$; линейная скорость середины полотна

$$v = 0,0183 \cdot \frac{286}{2} = 2,6 \text{ дм.}$$

$$\omega_0 = 2\omega = 0,0366; t_0 = \frac{T}{2} = 32,5 \text{ сек.}$$

Дѣлая расчетъ, инженеръ Польковскій находитъ, что по Landsberg'у

$$M_1 = 591,0 + 6365,0 + 155,2 = 7111,2 \text{ пуд. дм.}$$

Вѣсъ вытѣсненной полотномъ воды $= 460$ пуд. $= 0,001.286.197 \cdot c$ откуда $c = 8$ дм., такъ что по формулѣ Зброжека оказалось

$$M_2 = 39,7 + 590,5 + 8057,0 + 209,4 = 8896,4 \text{ пуд. дм.}$$

Шлюзные ворота открываются при помощи зубчатой рейки (черт. 199), разстояние которой отъ оси вращенія равно 63,4 дм. Слѣдовательно для открытія воротъ надо приложить усиліе N

$$\text{по Landsberg'у} \quad N_1 = \frac{7111,2}{63,4} = 112,2 \text{ пуд.}$$

$$\text{по Зброжеку} \quad N_2 = \frac{8896,4}{63,4} = 140,3 \text{ пуд.}$$

*) „О расчетѣ усилій для открыванія шлюзовыхъ воротъ“. Извѣстія собранія инженеровъ путей сообщенія. 1903 г. № 3.

Усиліе это, перпендикулярное къ воротамъ, въ началѣ открыванія приложено къ полотну подъ угломъ въ 46° (черт. 200), \cosinus котораго $= 0,72$; поэтому дѣйствительное усиліе R

$$\text{по Landsberg'у} \quad R_1 = \frac{112,2}{0,72} = 156 \text{ пуд.}$$

$$\text{по Зброжеку} \quad R_2 = \frac{140,3}{0,72} = 195 \text{ пуд.}$$

Средняя работа сопротивленія

$$\text{по Landsberg'у равна } M_1. \omega = 7111,2 \times 0,0183 = 130 \text{ пуд. дм.}$$

$$\text{по Зброжеку} \quad M_2. \omega = 8896,4 \times 0,0183 = 162,8 \text{ пуд. дм.}$$

Если коэффициентъ полезнаго дѣйствія механизма $= 0,8$, усиліе Q рабочаго приложено къ рукояткѣ, вращающейся со скоростью 2,4 фут. $= 28,8$ дюйм., то работа силы Q въ 1 сек. равна $0,8 \times 28,8 \times Q = 23. Q$ пуд. дм.; приравнивая послѣднюю найденной выше средней работѣ $M\omega$ находимъ, что

$$\text{по Landsberg'у} \quad Q_1 = 5,65 \text{ пуд.}$$

$$\text{по Зброжеку} \quad Q_2 = 7,08 \text{ пуд.}$$

Обыкновенно предполагаютъ, что усиліе человѣка, приложенное къ рукояткѣ, равно 0,5 пуд.; если принять это усиліе равнымъ даже 1 пуд., то для приведенія воротъ въ движеніе потребуется 6 или 7 человѣкъ; а въ дѣйствительности полотно этихъ воротъ открывается и закрывается только однимъ человѣкомъ.

Выяснивъ на примѣрѣ, насколько результаты вычисленій, сдѣланныхъ по формуламъ Landsberg'a и Зброжека, далеки отъ истины, инженеръ Польковскій прежде всего указываетъ на то, что величина коеф. тренія $\mu = 0,4$ чрезмѣрно велика. Дѣлая историческую справку объ опытахъ на треніе, произведенныхъ до начала XIX столѣтія, затѣмъ приводя результаты опытовъ Рени и Морена и критическую оцѣнку ихъ, сдѣланную Бриксомъ, Понселе, Вейсбахомъ, инженеръ Польковскій приходитъ къ заключенію, что коэффициентъ тренія для галь-

сбанта вполне рационально принимать равнымъ 0,10 при хорошей смазкѣ; а такъ какъ нельзя вполне удалить пыль, попавшую между шиномъ и гальсбантомъ, то онъ рекомендуетъ брать $\mu=0,13$ для смазки среднего качества.

Величина тренія въ гальсбантѣ зависитъ отъ натяженія S послѣдняго. Если разстояніе между центромъ реакціи пята и центромъ натяженія гальсбанда равно b (черт. 201), то $S = P \frac{l}{2b}$, такъ что при движеніи полотна сопротивленіе отъ тренія въ гальсбантѣ равно

$$(3) \dots \mu. S = \mu \frac{Pl}{2b} = 0,13 \frac{Pl}{2b} = G$$

$$(4) \dots \text{Моментъ его } m_1 = \mu S \cdot \frac{d_1}{2} = 0,13 \frac{P}{4} \cdot \frac{ld_1}{b} = 0,13 S \frac{d_1}{2}$$

Коеффициентъ тренія въ пятѣ опять надо брать равнымъ $\mu=0,13$.

Сопротивленіе тренія въ пятѣ равно

$$(5) \dots \mu. P = 0,13 P.$$

$$(6) \dots \text{Моментъ его } m_2 = 0,13. P \frac{d}{4}.$$

Вообще же можно считать коеффициенты тренія въ пятѣ и гальсбантѣ равными отъ 0,06 до 0,20 въ зависимости отъ мѣстныхъ условій.

Затѣмъ инженеръ Польковскій указываетъ на неточность послѣднихъ двухъ членовъ въ формулахъ Landsberg'a и Зброжека и на основаніи изслѣдованій Borda, Thibault'a, Bossut'a, Dubuat'a, Poncelet, Duchemin'a, Piobert'a, Morin'a, Didion'a и Savart'a приходитъ къ заключенію, что моментъ сопротивленія движенію шлюзного полотна въ спокойной водѣ выражается съ достаточной точностью формулой

$$(7) \dots m_3 = \beta \gamma. h \frac{l^2 v^2}{2g} = 0,0000019 h l^2 v^2$$

при измѣреніяхъ въ пудахъ и дюймахъ.

Плечо силы сопротивленія спокойной воды движенію воротъ $= \frac{3}{4} l$, слѣдовательно эта сила равна

$$(8) \dots p = \frac{4}{3} \frac{m_3}{l}$$

Моментъ силы инерціи выражается формулой

$$(9) \dots m_4 = \frac{\omega_0 P(c^2 + 4l^2)}{24 g t_0^2}$$

Въ виду того, что m_4 по абсолютной величинѣ очень мало, при расчетахъ можно не принимать его во вниманіе.

Такимъ образомъ исправленная инженеромъ Польковскимъ формула движущаго момента для открытія шлюзовыхъ воротъ принимаетъ видъ:

$$(10) \dots M_3 = m_1 + m_2 + m_3 = 0,13 \left(\frac{Pd}{4} + \frac{Sd_1}{2} \right) + 0,0000019 h l^2 v^2$$

при измѣреніяхъ въ пудо-дюймахъ.

Для середины полотна воротъ шлюза на Шекснѣ

$$v = 0,0183 \times \frac{286}{2} = 2,6 \text{ дм.}$$

$$\begin{aligned} \text{Сумма силъ сопротивленія } R &= P \cdot \mu + S \cdot \mu + \frac{4}{3} \cdot \frac{m_3}{l} = 500 \times 0,13 + \\ &+ 341 \times 0,13 + \frac{4}{3} \cdot 0,0000019 \cdot 197 \cdot 286 \cdot 2,6^2 = 65 + 44,3 + \\ &+ 0,97 = 110,27 \text{ пуд.} \end{aligned}$$

При діаметрѣ пяты и шина $d=5$ дм. моментъ

$$\begin{aligned} M_3 &= 65 \cdot 1,25 + 44,3 \cdot 2,5 + 0,97 \cdot \frac{3}{4} \cdot 286 = 81,25 + 110,75 + \\ &+ 207 = 399 \text{ пуд. дм.;} \end{aligned}$$

плечо момента

$$x = \frac{399}{110,27} = \text{почти } 3,6 \text{ дм. (черт. 202).}$$

Если бы движущее усилие N , равное 110,27 кил., было приложено на разстояніи найденныхъ 3,6 дм. отъ оси вращенія, то полотно воротъ открывалось бы, не вызывая дополнительныхъ опорныхъ реакцій. Въ дѣйствительности же движущее усилие N бываетъ приложено къ воротамъ значительно далѣе; вслѣдствіе этого на шинахъ появляется дополнительное сопротивленіе отъ тренія, такъ что выше указанныя значенія, M_3 , R и x измѣнятся.

Обозначимъ ось вращенія полотна воротъ черезъ O (черт. 202) и центръ сопротивленія т. е. точку приложенія силы R черезъ A .

Движущее усилие N приложено въ точкѣ B на разстояніи k отъ O . По чертежу (202)

$$N = \frac{x R}{k}$$

и дополнительная опорная реакція

$$O = R - N = R - \frac{x R}{k} = R \frac{k - x}{k}.$$

Дополнительное сопротивленіе отъ тренія въ гальсбантѣ обозначимъ черезъ C_1 и отъ тренія въ пятѣ черезъ C_2 , такъ что полное дополнительное сопротивленіе

$$D = C_1 + C_2 = \mu \cdot O = \mu \frac{k - x}{k} R$$

соотвѣтственно этому движущій моментъ увеличивается и значенія R и x измѣняются.

Обозначимъ исправленную величину сопротивленія черезъ R_1 и разстояніе точки приложенія его отъ оси вращенія черезъ x_1 .

Тогда сопротивленіе отъ реакціи

$$(11) \dots \dots D = C_1 + C_2 = \mu \frac{k - x_1}{k} R_1.$$

Плечо силы тренія въ гальсбантѣ $= r_1$, а въ пятѣ $\frac{1}{2} r_2$;

слѣдовательно моментъ тренія

$$= C_1 \cdot r_1 + C_2 \cdot \frac{r_2}{2} = \Sigma Cr.$$

Искомыя значенія x и R т. е. исправленные x_1 и R_1 должны удовлетворять условію

$$x \cdot R = x_1 \cdot R_1 = M_3,$$

и моментъ тренія отъ реакціи $D = \mu \frac{k - x_1}{k} \cdot R_1$ долженъ быть прибавленъ къ моменту движущаго усилія, т. е.

$$\Sigma Cr + R_1 x_1 = (D + R_1) x_1 \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (12)$$

или

$$\Sigma Cr = D x_1 \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (13);$$

отсюда

$$x_1 = \frac{\Sigma Cr}{D}.$$

Обозначимъ $C_1 = \alpha D$; $C_2 = (1 - \alpha) D$; слѣдовательно

$$\Sigma Cr = C_1 \cdot r_1 + C_2 \cdot \frac{r_2}{2} = \alpha D \cdot r_1 + (1 - \alpha) D \cdot \frac{r_2}{2}$$

$$x_1 = \alpha r_1 + (1 - \alpha) \cdot \frac{r_2}{2} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (14),$$

откуда

$$\alpha = \frac{2x_1 - r_2}{2r_1 - r_2} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (15)$$

Для опредѣленія силы C_1 тренія отъ реакціи въ гальсбантъ и силы C_2 въ пятѣ при $C_1 + C_2 = D$ надо найти сначала центръ сопротивленія полотна.

Обозначая черезъ G (форм. 3) треніе въ гальсбантъ отъ вѣса и черезъ p (форм. 8) гидродинамическое сопротивленіе его, по чертежу 203 находимъ моментъ сопротивленій относительно горизонтальной оси, проходящей черезъ пяту,

$$(C_1 + G)b + p \cdot \frac{h}{2} = (R_1 + D)y,$$

откуда

$$y = \frac{(C_1 + G)b + p \frac{h}{2}}{R_1 + D}.$$

Изъ чертежа находимъ:

$$k : (k - x_1) = (h - z) : (h - y)$$

и $C_1 \cdot b = D z$.

Изъ перваго уравненія находимъ

$$\frac{(h - z)(k - x_1)}{k} = h - y;$$

подставляемъ сюда значеніе y

$$\frac{(h - z)(k - x_1)}{k} = h - \frac{(C_1 + G)b + p \frac{h}{2}}{R_1 + D},$$

$$\text{гдѣ } D = \mu \frac{k - x_1}{k} \cdot R_1, \quad C_1 = \alpha D = \alpha \mu \frac{k - x_1}{k} R_1 \text{ и}$$

$$z = \frac{C_1 b}{D} = \alpha b, \text{ такъ что}$$

$$\frac{(h - \alpha b)(k - x_1)}{k} = h - \frac{\left(\alpha \mu \frac{k - x_1}{k} \cdot R_1 + G \right) b + p \frac{h}{2}}{R_1 \cdot \frac{k + \mu(k - x_1)}{k}};$$

$$\frac{h(k - x_1)}{k} - \frac{\alpha b(k - x_1)}{k} = h - \frac{\alpha \mu (k - x_1) b}{k + \mu(k - x_1)} - \frac{k \left(G b + \frac{p h}{2} \right)}{[k + \mu(k - x_1)] R_1};$$

$$\alpha b \frac{(k - x_1)[k + \mu(k - x_1)] - k \mu(k - x_1)}{k[k + \mu(k - x_1)]} + h \left(1 - \frac{k - x_1}{k} \right) =$$

$$= \frac{k \left(G b + \frac{p h}{2} \right)}{[k + \mu(k - x_1)] R_1};$$

$$\alpha \cdot b \{k^2 + k \mu (k - x_1) - x_1 [k - \mu (k - x_1)] - k \mu (k - x_1)\} + \\ + h x_1 [k + \mu (k - x_1)] = \frac{k^2 \left(Gb + \frac{p h}{2} \right)}{R_1};$$

Подставляя сюда $\alpha = \frac{2x_1 - r_2}{2r_1 - r_2}$

и $R_1 = \frac{R \cdot x}{x_1} = \frac{M_3}{x_1}$, находимъ

$$(2x_1 - r_2) \left\{ \frac{k^2}{x_1} - [k + \mu (k - x_1)] \right\} + \frac{h}{b} (2r_1 - r_2) [k + \mu (k - x_1)] = \\ = \frac{k^2 \left(G + \frac{p}{2} \cdot \frac{h}{b} \right)}{M_3} (2r_1 - r_2) \dots \dots \dots (16)$$

Отсюда x_1 легче всего опредѣлить путемъ подстановокъ.

Изъ выраженія (14) видно, что плечо x_1 имѣетъ нѣкоторое среднее значеніе между плечомъ тренія въ гальсбантѣ r_1 и плечомъ тренія въ пятѣ $\frac{r_2}{2}$. Благодаря этому вычисленія значительно упрощаются. Подставивъ въ уравненіе (16) два значенія x_1 , близкія къ r_1 и $\frac{r_2}{2}$, можно затѣмъ изъ пропорціи найти довольно точную величину x_1 . *).

Для провѣрки вычисленій можетъ служить выраженіе (13).

Для воротъ Шекнинскаго шлюза

$$R = 110,27 \text{ пуд.}, \quad k = 63,4 \text{ дм.}, \quad h = 197 \text{ дм.}, \quad b = 210 \text{ дм.}; \\ p = 0,97 \text{ пуд.}, \quad M_3 = 399 \text{ пд. дм.};$$

*) Имѣемъ $f(x_1) = 0$; приближенное значеніе корня обозначимъ черезъ c . Если опредѣлить значенія $f(a)$ и $f(b)$ для двухъ значеній a и b , выбранныхъ произвольно, но такъ, чтобы x_1 заключалось между ними, то

$$c = a - h = a - f(a) \frac{a - b}{f(a) - f(b)}$$

$$N = \frac{M_3}{k} = \frac{399}{63,4} = 6,3 \text{ пд.}; G = 44,3 \text{ пд.}; r_1 = r_2 = 2,5 \text{ дм.}$$

$$\frac{k^2 \left(G + \frac{p}{2} \cdot \frac{h}{b} \right)}{M_3} (2r_1 - r_2) = 1127,3 \text{ такъ что на основаніи уравненія (16) при } \mu = 0,13$$

$$(2x_1 - 2,5) \left\{ \frac{63,4^2}{x_1} - [63,4 + 0,13(63,4 - x_1)] \right\} + \frac{197}{210} \times \\ \times 2,5 [63,4 + 0,13(63,4 - x_1)] - 1127,3 = F(x_1).$$

Такъ какъ x_1 должно заключаться между $r_1 = 2,5$ и $\frac{1}{2} r_2 = 1,25$, то, подставляя въ $F(x_1)$ значенія: $x_1 = 1,25$ и $x_1 = 2,4$, находимъ:

$$\begin{array}{ll} \text{при } x_1 = 2,4 & F(x_1) = 2728 \\ \text{при } x_1 = 1,25 & F(x_1) = -959,66 \end{array}$$

$$x_1 = 2,4 - 2728 \frac{2,4 - 1,25}{2728 + 959,66} = 1,55.$$

Второе приближеніе:

$$\begin{array}{ll} \text{при } x_1 = 1,7 & F(x_1) = 1103,9 \\ \text{при } x_1 = 1,4 & F(x_1) = -119,8 \end{array}$$

$$x_1 = 1,7 - 1103,9 \frac{1,7 - 1,4}{1103,9 + 119,8} = 1,43 \text{ дм.}$$

Далѣе находимъ

$$\alpha = \frac{2 \times 1,43 - 2,5}{2,5} = 0,144$$

$$R_1 = \frac{M_3}{1,43} = 279 \text{ пуд.}$$

По формулѣ (11)

$$D = 0,13 \frac{63,4 - 1,43}{63,4} \cdot 279 = 35,5 \text{ пуд.}$$

$$C_1 = \alpha D = 5,1 \text{ пд.}; C_2 = D - C_1 = 30,4 \text{ пд..}$$

Для проверки дѣлаемъ подстановку найденныхъ величинъ въ формулу (13)

$$5,1 \times 2,5 + 30,4 \times 1,25 = 35,5 \times 1,43;$$

$$12,75 + 38,00 = 50,765,$$

что въ достаточной степени точно.

Полный движущій моментъ

$$\Sigma M = (N_1 + D) x = (279 + 35,5) \times 1,43 = 450 \text{ пуд. дм.}$$

Въ точкѣ закрѣпленія зубчатой рейки требуется приложить усиліе

$$N_1 = \frac{450}{63,4} = 7,1 \text{ пуд.}$$

т. е. на 11% болѣе исчисленнаго выше 6,3 пуд.

Усиліе Q рабочаго, приложенное къ рукояткѣ механизма опредѣлится изъ равенства работы его работѣ сопротивленій т. е. изъ уравненія

$$\gamma \cdot \Sigma M = Q \cdot q \cdot v$$

гдѣ $\gamma = 0,0183$ — средняя условная скорость (см. выше),
 $q = 0,8$ — коэффициентъ полезнаго дѣйствія механизма,
 $v = 2,4 \text{ фт.} = 28,8 \text{ дм.}$ — скорость вращенія рукоятки,
 $0,0183 \times 450 = 0,8 \times Q \times 28,6$ откуда

$$Q = 0,36 \text{ пуд.}$$

что согласуется съ дѣйствительностью.

Въ нашемъ сравнительно краткомъ трудѣ мы вовсе не касались весьма важнаго вопроса о расчетѣ шлюзныхъ водопроводовъ: причиною этого послужило то обстоятельство, что вопросъ этотъ весьма обстоятельно и детально разработанъ Инженеромъ Н. Д. Тяпкинымъ въ его трудѣ „О формулахъ, примѣняемыхъ для гидравлическаго расчета шлюзныхъ водопроводовъ въ различныхъ случаяхъ ихъ устройства“, а по-

тому всѣхъ желающихъ ознакомиться съ указаннымъ вопросомъ мы и отсылаемъ къ этому труду.

Въ качествѣ матеріала для проектированія камерныхъ шлюзовъ мы приложили въ атласѣ чертежей восемь таблицъ, взятыхъ изъ серіи исполнительныхъ чертежей по устройству Маринской системы.

На листахъ 26 и 27 помѣщены исполнительные чертежи шлюза Св. Андрея, построеннаго въ 1894 г.

На листѣ 28 представленъ шлюзъ Св. Самсонія; отличіе его главнымъ образомъ заключается въ устройствѣ основанія (въ скалистомъ грунтѣ).

На листахъ 29 и 30 помѣщены детали къ деревяннымъ шлюзамъ, касающіяся какъ устройства королей, такъ и водопроводныхъ затворовъ и механизмовъ для открытія воротъ.

На листѣ 31 изображенъ одинъ изъ Шекенинскихъ шлюзовъ, построенныхъ въ 1895 г., и представляющихъ собой типъ шлюзовъ съ камерою въ видѣ канала съ укрѣпленными берегами.

На листахъ 32 и 33 помѣщены детали къ изображенному на листѣ 31-мъ шлюзу.



Зам. № 823. 1846.



